

JEAN ALSAC

“LES EFFETS DE L’ACTION
PÉRIPHÉRIQUE DU FROID
SUR LE RÉFLEXOGRAMME ACHILLÉEN
CHEZ L’HOMME”

TRAVAIL DU SERVICE D'EXPLORATIONS FONCTIONNELLES DU C.H.U. D'AMIENS
ET DE L'ÉCOLE DE CADRES DE KINÉSITHÉRAPIE DE BOIS-LARRIS

THÈSE
POUR LE DOCTORAT
EN MÉDECINE

30 OCTOBRE
1974

PRÉSIDENT D'HONNEUR MONSIEUR LE PROFESSEUR P.L. CHIGOT

PRÉSIDENT DE THÈSE MONSIEUR LE PROFESSEUR P. HARICHAUX

JUGES MONSIEUR LE PROFESSEUR Y. BRESSON
 MONSIEUR LE PROFESSEUR P. VIVES

JEAN ALSAC

“LES EFFETS DE L’ACTION
PÉRIPHÉRIQUE DU FROID
SUR LE RÉFLEXOGRAMME ACHILLÉEN
CHEZ L’HOMME”

TRAVAIL DU SERVICE D'EXPLORATIONS FONCTIONNELLES DU C.H.U. D'AMIENS
ET DE L'ÉCOLE DE CADRES DE KINÉSITHÉRAPIE DE BOIS-LARRIS

THÈSE
POUR LE DOCTORAT
EN MÉDECINE

30 OCTOBRE
1974

PRÉSIDENT D'HONNEUR MONSIEUR LE PROFESSEUR P.L. CHIGOT

PRÉSIDENT DE THÈSE MONSIEUR LE PROFESSEUR P. HARICHAUX

JUGES MONSIEUR LE PROFESSEUR Y. BRESSON
 MONSIEUR LE PROFESSEUR P. VIVES

A Monsieur le Professeur Paul-Louis CHIGOT,

Professeur à la Faculté de Médecine de PARIS Saint-Antoine,
Chirurgien des Hôpitaux de PARIS, Chef de Service,
Membre de l'Académie de Chirurgie,
Officier de la Légion d'Honneur,
Croix de Guerre 1939-1945.

En ayant bien voulu accepter, malgré vos lourdes charges de venir à AMIENS assumer la présidence d'honneur de cette thèse, il vous plait de nous faire à tous ici un grand honneur dont je vous remercie très profondément pour ma part.

Cette présidence d'honneur confirme les liens étroits qui existent entre l'Ecole de Cadres de Kinésithérapie de BOIS-LARRIS et le Laboratoire de Physiologie de la Faculté de Médecine d'AMIENS, et nous nous en réjouissons très vivement.

A mon Maître et Président de Thèse,

Monsieur le Professeur Pierre HARICHAUX,

Professeur titulaire de Physiologie,
Biologiste des Hôpitaux, Chef de Service,
Chevalier de l'Ordre des Palmes Académiques.

Durant six mois, j'ai pu bénéficier,
en tant qu'étudiant, de votre enseignement
dans le Service d'Explorations Fonctionnelles
du Centre Hospitalier d'AMIENS.

Aussi n'ai-je pas hésité trois années
plus tard à venir vous demander de me guider
pour cette thèse. Vous l'avez fait avec
beaucoup de bienveillance, ce qui m'a permis
de contribuer, par ce travail, à un
programme de recherches commun entre l'Ecole
de Cadres de Kinésithérapie de BOIS-
LARRIS et votre Laboratoire.

Veuillez recevoir ici le témoignage
de mon profond respect et de mon admiration.

A Monsieur le Professeur Yves BRESSON,

Professeur titulaire de Biophysique à titre personnel,
Biologiste des Hôpitaux,
Chevalier de l'Ordre des Palmes Académiques.

Vous avez accepté de me guider, en particulier pour la mise au point de la partie statistique de ce travail, et vous me faites l'honneur de bien vouloir juger cette thèse.

Veillez recevoir ici le témoignage de ma vive et très respectueuse gratitude.

A Monsieur le Professeur Pierre VIVES,

Professeur Agrégé d'Orthopédie et de Traumatologie,
Chirurgien des Hôpitaux.

Après avoir bénéficié de la clarté
de votre enseignement, vous me faites
l'honneur de bien vouloir juger ce tra-
vail.

Permettez-moi de vous exprimer ma
gratitude et mon profond respect.

A mes amis du Laboratoire de Physiologie de la Faculté de Médecine et du Service d'Explorations Fonctionnelles (Professeur Pierre HARICHAUX) du Centre Hospitalier Universitaire d'AMIENS, et notamment :

Monsieur Michel FREVILLE, Maître ès-Sciences, Assistant au Laboratoire (Faculté)

Mademoiselle Béatrice DEREUMAUX, Technicienne (Faculté)

Mademoiselle Isabelle VAUSSARD, Infirmière D.E. (C.H.U.)

Madame Marylène PRUDHOMME, Secrétaire (Faculté)

Madame Michèle JAUDHUIN, Secrétaire (C.H.U.)

qui m'ont tellement aidé dans les calculs et dans l'exécution de ce travail.

et

A la Direction de l'Ecole de Cadres de Kinésithérapie de BOIS-LARRIS, qui a contribué à ce travail en liaison constante avec le Laboratoire de Physiologie (Professeur Pierre HARICHAUX) de la Faculté de Médecine d'AMIENS, et notamment :

Monsieur Eric VIEL, Directeur des Etudes, Masseuse-Kinésithérapeute Moniteur, Ph. D. (U.S.A.)

Monsieur Yves BLANC, Directeur-Adjoint, Masseuse-Kinésithérapeute Moniteur.

Avec mes remerciements, et ma fidèle amitié.

A ma femme,

A mes parents,

A mes soeurs,

A mon frère,

A toute ma famille et à mes amis.

INTRODUCTION

L'action du froid sur le réflexogramme a déjà été étudiée, soit chez l'animal (TUMAKOVA, 1958 chez le Rat), soit chez l'Homme (v. notamment : PETAJAN et coll., 1962 ; MIGLIETTA, 1962 ; KNUTSSON et MATTSON, 1969 ; MECOMBER, 1971), mais en général, dans ces travaux :

- . l'action du froid n'est pas toujours différenciée entre les facteurs centraux (frisson thermique) et les facteurs périphériques locaux,

- . ou l'étude critique et statistique des résultats est rarement effectuée,

- . ou le réflexe myotatique n'est pas distingué d'autres réflexes, polysynaptiques.

Dans un but analytique, pour une utilisation en Cryothérapie, nous décrirons, dans le présent travail, l'action d'un refroidissement localisé sur le réflexogramme achilléen chez l'Homme, avec étude statistique des résultats par le test t.

Ce travail a été poursuivi en liaison entre le Service d'Explorations Fonctionnelles de notre Maître le Professeur Pierre HARICHAUX et l'Ecole Supérieure de Cadres de Kinésithérapie de BOIS-LARRIS.

- PREMIERE PARTIE -

RAPPEL SUR LE REFLEXE ACHILLEEN.

SIGNIFICATION PHYSIOLOGIQUE ET MODE D'ENREGISTREMENT.

Le réflexe achilléen est la forme de réflexe myotatique (monosynaptique) la plus usuellement étudiée en clinique humaine.

Nous rappellerons brièvement ici :

11. Sa signification physiologique et en particulier son hodologie et ses mécanismes de régulation.
12. Les procédés courants d'étude clinique.

11. SIGNIFICATION PHYSIOLOGIQUE, HODOLOGIE ET MECANISMES DE REGULATION

111. Signification physiologique :

L'étude "du réflexe achilléen" consiste en la contraction du muscle triceps sural (1) en réponse à son étirement (entraînée par la percussion du tendon d'Achille. C'est le "stretch reflex" de SHERRINGTON ou réflexe d'étirement).

1111. Description expérimentale :

La description expérimentale princeps par LIDDEL et SHERRINGTON (1924 et 1925) porte précisément sur le muscle quadriceps du Chien, complètement isolé à l'une de ses extrémités, et qui a gardé avec l'animal des connections nerveuses sensitivo-motrices. Le mem-

(1) Il est classique de dire que le réflexe ostéo-tendineux est la composante dynamique, phasique, du réflexe myotatique. Il y a également lieu d'insister, pour éviter toute confusion, sur le fait que le réflexe "tendineux" du clinicien, n'est en réalité pas "tendineux" stricto sensu. En effet, si on remplace expérimentalement le tendon par un matériel inerte, la percussion de ce pseudo-tendon provoque encore une réponse myotatique.

bre inférieur étant maintenu en solide contention osseuse, et l'extrémité désinsérée du quadriceps étant liée à un myographe isométrique fixe (lame de torsion), l'abaissement du support de contention provoque un étirement, stimulus auquel le muscle répond par une augmentation de tension.

L'augmentation de tension, proportionnelle à l'étirement, est bien réflexe : si on prive le muscle de son innervation sensitive (désafférentation) avant de recommencer la même opération, il ne répondra plus que par une faible augmentation de tension.

1112. Caractères physiologiques principaux :

Il s'agit d'un réflexe physiologiquement caractérisé par :

- . un temps de latence très court (6 ms),
- . une réponse en 2 composantes : phasique d'abord, puis tonique, qui ne s'adapte pas et se poursuit jusqu'à la fatigue (30 mn ou plus selon la préparation),
- . l'absence de post-décharge : dès que l'étirement cesse, la réponse cesse également,
- . la possibilité de recrutement,
- . la possibilité d'inhibition par la stimulation du nerf sensitif homolatéral.

112. Eléments hodologiques du réflexe myotatique :

Comme pour tout réflexe, on pourra décrire :

- . des éléments récepteurs et des voies sensitives,
- . un centre,
- . des éléments moteurs.

1121. Eléments récepteurs :

Ce sont surtout les fuseaux neuro-musculaires et les organes tendineux de GOLGI. Nous décrirons brièvement les autres récepteurs :

a) Fuseaux neuro-musculaires (figure 1) :

Identifiés dès 1862 par KÖLLIKER, dans le muscle de Grenouille, ils ont été l'objet de recherches nombreuses qui ont précisé leur constitution et leur innervation sensitive :

- Leur constitution a été étudiée par RUFFINI (1898), puis précisée par BARKER (1948 ; 1960) et BOYD (1960 ; 1964). Ils sont inclus dans la partie charnue du muscle et sont constitués de fibres musculaires différenciées. On peut leur décrire une zone équatoriale richement nucléée et deux parties extrêmes constituées de fibres striées. Chez la plupart des mammifères les fuseaux renferment deux sortes de fibres : les fibres "à sac nucléaire" et les fibres "à chaîne nucléaire". Les premières présentent un renflement dans leur partie équatoriale, le sac, où sont accumulés de nombreux noyaux. Les fibres à chaîne ne comportent pas de renflement et les noyaux sont rangés en chaîne, également dans la région équatoriale.

- Leur rôle sensitif, pressenti en 1862, par KÜHNE a été affirmé par SHERRINGTON (1894) et MATTHEWS (1923) a montré que leur stimulus électif est l'étirement du muscle. Leur innervation sensitive est assurée par deux

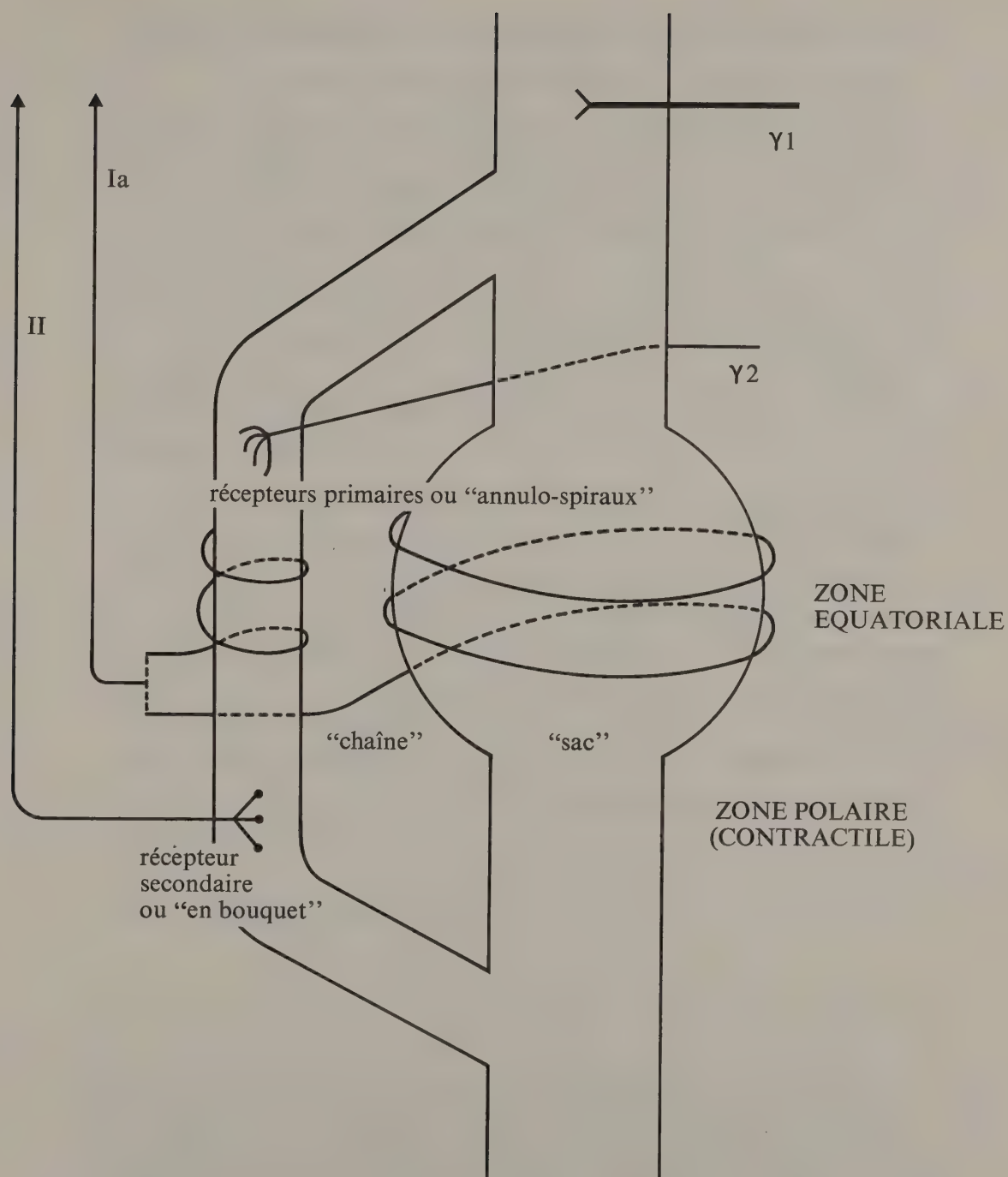


FIG. 1 : FUSEAU NEURO-MUSCULAIRE

types de récepteurs, dits primaires et secondaires (1) :

* Les récepteurs primaires, fournis par des fibres nerveuses, myéliniques, de gros calibre de 12 à 20 μ (fibres Ia), s'enroulent en spirales (2) autour du sac ou de la chaîne nucléaire. Ils sont situés au niveau de la zone équatoriale du fuseau. Leur seuil d'étirement est très bas (2 g. chez le Chat : HUNT et coll., 1958, 1960). Leur activité est linéairement proportionnelle à l'importance de l'étirement (ELDRED, GRANIT et MERTON, 1953), et à sa vitesse de mise en jeu (RENKIN et VALBO, 1964), mais ne subit pas d'adaptation (MATTHEWS, 1933).

* Les récepteurs secondaires, fournis par des fibres myéliniques plus étroites (4 à 12 μ) du groupe II, innervent préférentiellement les fibres à chaîne. Ils siègent au niveau des myotubes polaires. Ces récepteurs "en bouquet" ne sont sensibles qu'à la composante statique de l'étirement, et non à sa vitesse de mise en jeu (BESSON et LAPORTE, 1964). Leur seuil de sensibilité est plus élevée que pour les éléments primaires (9 g. chez le Chat : HUNT, 1951) et proportionnel à l'intensité du stimulus.

Ces récepteurs sont mis en jeu dans deux cas schématiquement opposés :

- (1) On parle souvent, dans la littérature, de "terminaisons" primaires et secondaires, pour désigner ces formations. Ce terme de "terminaison", repris de l'anglais peut paraître étymologiquement peu justifié puisqu'il s'agit précisément de formations sensibles, initiales, alors que terminales signifierait plutôt un sens moteur. Aussi préférons-nous ne pas l'utiliser ici, bien qu'il soit relativement usuel, et nous lui préférons le terme de récepteur.
- (2) Les récepteurs primaires sont également appelés récepteurs annulo-spiraux.

- lorsque le muscle est étiré dans son ensemble, ce qui étire les formations sensibles,
- lorsque le muscle n'est pas étiré dans son ensemble, mais au contraire se contracte. En ce cas, les parties distales, musculaires, du fuseau se contractent (ce qui revient à l'étirement de la partie sensitive, équatoriale, du fuseau).

b) Les organes tendineux de GOLGI :

Leur morphologie a été précisée par REGAUD dès 1907. Leur stimulus est l'étirement (dont le seuil est très élevé, 100 à 200 g.). Ils sont responsables d'une réaction réflexe différente appelée "réflexe myotatique inverse" ; qui inhibe le muscle étiré au lieu de le contracter. Par ce mécanisme, les corpuscules de GOLGI sont freinateurs de la réaction myotatique dont les fuseaux neuro-musculaires sont les promoteurs.

c) Autres récepteurs :

Ce sont les récepteurs articulaires (voir notamment : FULTON et PI-SUNER, 1928). Ils sont représentés par :

- . des corpuscules de RUFFINI, sensibles à une position articulaire déterminée (SKOGLUND, 1956),
- . des organes de GOLGI articulaires dont le rôle est voisin de celui des précédents,
- . des rares corpuscules de VATER-PACINI, considérées comme des récepteurs d'accélération.

1122. Voies sensibles :

Ce sont les neurones dont l'extrémité sensitive est l'une des formations précédentes. Ils suivent les nerfs sensitifs, la racine postérieure de la

moelle ; le relai se fait à l'échelon médullaire (au niveau de S_1 pour le réflexe achilléen).

Ces fibres nerveuses sont de plusieurs types : I et II de la classification de LLOYD.

. Les fibres Ia (HUGELIN et BONVALLET, 1956) :

Elles correspondent aux récepteurs primaires des fibres à sac et à chaîne nucléaire. Elles réaliseraient le type de réflexe monosynaptique pressenti par RAMON Y CAJAL (1909-1911), en se relayant directement avec les motoneurones alpha, ou par l'intermédiaire du circuit court inhibiteur décrit par RENSHAW (1941), comme l'ont décrit ECCLES et coll. (1954 et 1962).

. Les fibres II émanent des récepteurs secondaires du fuseau neuro-musculaire et s'articulent au niveau de la moelle avec les mêmes motoneurones alpha, par l'intermédiaire d'un neurone intercalaire.

. Les fibres Ib proviennent des organes tendineux de GOLGI.

1123. Centres :

L'arc réflexe est fermé dans la moelle comme l'ont montré DENNY, BROWN et LIDDEL (1927) chez l'animal spinal chronique, par décapitation ou transection sous bulbaire, éliminant les interventions sus-jacentes.

Les fibres Ia donnent au niveau de la moelle des collatérales qui ont une action facilitatrice sur les motoneurones synergiques (innervant les muscles agonistes) et une action inhibitrice sur les motoneurones antagonistes.

Les fibres Ib sont inhibitrices du réflexe myotatique et facilitatrices des muscles antagonistes. Leur mise en action demande un étirement plus

important que celui qui provoque la décharge des fibres Ia.

Il est à noter qu'il existe au niveau de la corne antérieure un neurone court dont les dendrites s'articulent avec une collatérale du motoneurone de la corne antérieure, et dont le cylindraxe retourne vers la cellule de la corne antérieure. Ce neurone décrit par RENSHAW, associé au motoneurone alpha exerce un effet inhibiteur par feed-back négatif.

Le réflexe myotatique subit, comme tout autre, une importante régulation supra-segmentaire, dont nous indiquerons plus loin les éléments principaux.

1124. Voies motrices :

Elles correspondent à trois routes différentes, les routes alpha, bêta et gamma (figure 2).

a) Route alpha :

C'est la voie motrice commune des muscles squelettiques. Sa description sortirait du cadre de notre sujet, mais il y a lieu de souligner un point intéressant relatif à la différenciation des muscles toniques et des muscles phasiques.

La distinction histologique avait déjà été établie par RANVIER entre les muscles striés squelettiques "rouges", faciles à tétaniser, peu fatigables, lents, et les muscles striés squelettiques "blancs", rapides, fatigables, et difficiles à tétaniser. Les fibres rouges prédominent dans les muscles toniques, dont la motricité est plutôt de type holocinétique et qui sont des muscles plutôt extenseurs, antigravifiques. Les fibres blanches correspondent aux muscles fléchisseurs de motricité plutôt idiocinétique.

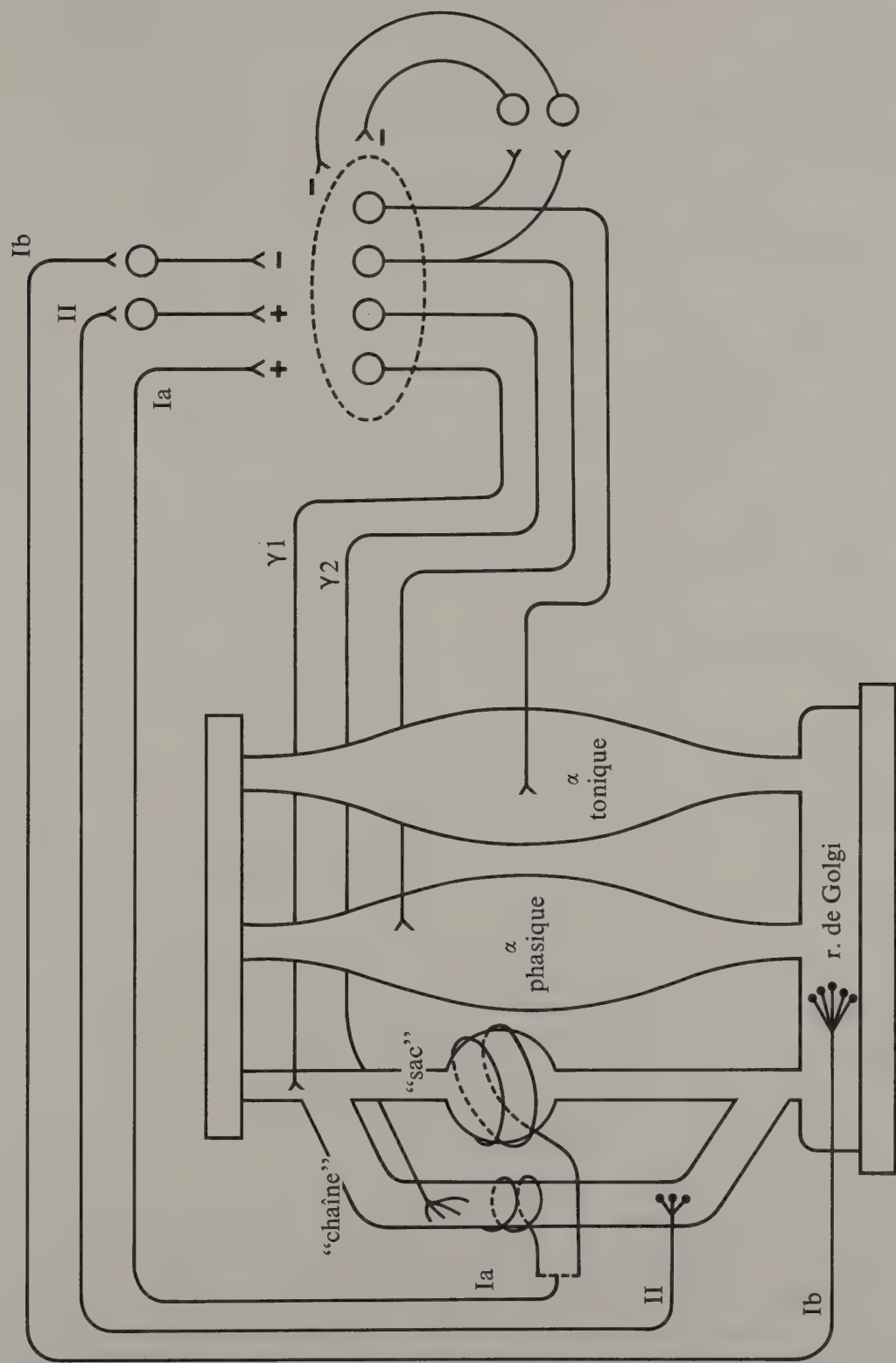


FIG. 2 : SCHEMA DE LA BOUCLE GAMMA

Aussi les muscles alaires des oiseaux migrateurs qui planent sont riches en fibres rouges, ceux des oiseaux non migrateurs qui volent rapidement, sont riches en fibres blanches.

Tout ceci correspond à des innervations alpha différentes.

En principe, les muscles rouges, toniques, qui ont en particulier des fonctions antigravifiques, sont innervés par des motoneurones qui reçoivent de nombreux afférences des fibres Ia (ECCLES et coll., 1957). Ces motoneurones alpha toniques sont plus petits que les motoneurones alpha phasiques (GRANIT et coll., 1957), et peuvent répondre par une décharge prolongée à un stimulus unique (GRANIT et coll., 1956), tout en étant en même temps dotés d'un système inhibiteur, type circuit de RENSHAW, particulièrement puissant (GRANIT, BASCOE et STEG, 1957).

Cette dualité peut déjà être mise en évidence au niveau des récepteurs et des fibres sensibles qui peuvent traduire des effets moteurs "dynamiques" ou "statiques" (MATTHEWS, 1962 ; CROWE et MATTHEWS, 1964 ; APPELBERG, 1965).

Ceci a été particulièrement analysé par BESSOU, LAPORTE, et PAGES (1965 et 1967), qui ont étudié les différences de fréquence des influx sensitifs et ont proposé une analyse mathématique de la "fréquence gamma" (RICHALET, 1967).

b) Route gamma :

Après une longue discussion sur le lieu exact de leur origine, on admet actuellement que les motoneurones gamma naissent du noyau moteur des motoneurones alpha qui innervent le même muscle (ECCLES, 1960). Pour BOYD (1961, 1962), confirmé par BARKER (1970), il

existe deux sortes de fibres nerveuses gamma différentes, de diamètre différent, destinées au fuseau neuro-musculaire à "sac nucléaire" (γ_1) et au fuseau neuro-musculaire à "chaîne nucléaire" (γ_2).

Les terminaisons motrices des fibres nerveuses gamma au niveau du fuseau neuro-musculaire ont été bien décrites par PAGES (1964). Il existe deux types de terminaisons :

- . terminaisons en plaques des fibres γ_1 , comparables aux plaques motrices des fibres musculaires squelettiques, et qui vont plutôt aux extrémités musculaires des fibres à sac nucléaire,
- . terminaisons diffuses des fibres γ_2 décrites chez le Rat et le Lapin par HESS (1961), chez le Chat par BARKER (1965) et chez l'Homme par COOPER et DANIEL (1963), et qui vont plutôt aux régions équatoriales des fibres à chaîne nucléaire.

c) Route_bêta (voir notamment la revue générale de BARKER, 1972).

Les axones bêta ont été mis en évidence en 1963 chez le Chat par BESSOU et EMONET. C'est BARKER en 1965 qui démontra que les axones bêta innervent à la fois les fibres musculaires extra-fusales et les fibres musculaires du fuseau neuro-musculaire. (C'est pourquoi on les appelle axones squeletteo-fusimoteurs).

La notion de neurones bêta étant relativement récente, nous nous permettons de rappeler leurs caractéristiques principales. Ce sont :

- . des neurones moteurs,
- . innervant le fuseau et le muscle,
- . d'action statique ou dynamique.

Pour MORIN (1971), il s'agirait d'un système "alpha à conduction lente" (25 à 70 m/s pour EMO-NET-DENAN, 1969), "peu développé chez le Mammifère, et

qui représenterait les vestiges de structures phylogénétiquement plus anciennes".

113. Régulation du réflexe myotatique :

Elle se fait à l'échelon médullaire et à divers niveaux centraux.

1131. A l'échelon médullaire, nous ne ferons que rappeler le rôle des collatérales des fibres Ia qui ont une action facilitatrice sur les motoneurones synergiques (innervant les muscles agonistes), et une action inhibitrice sur les motoneurones antagonistes.

Nous rappellerons également le rôle des fibres Ib provenant des organes de GOLGI, inhibiteurs du réflexe myotatique et facilitatrices des muscles antagonistes.

Enfin, le circuit de RENSHAW, dont les neurones intercalaires courts, établissent une surpolarisation du neurone provoquant une inhibition rétro-active.

1132. Aux niveaux centraux :

Les neurones centraux ont, par leur articulation médullaire, une action inhibitrice (relâchement du fuseau neuromusculaire) ou activatrice (contraction du fuseau neuro-musculaire) sur la cellule gamma. Les influx modificateurs peuvent provenir de la formation réticulée, du cervelet et du cerveau.

Notre sujet d'étude étant l'action périphérique du froid, nous admettons que les centres supra-segmentaires de régulation du réflexe myotatique ne sont pas mis en jeu dans notre expérimentation et nous nous contenterons donc de les énumérer brièvement ici:

. Les centres inhibiteurs situés au niveau de la partie inférieure de la formation réticulée descendante du tronc cérébral, des noyaux gris cérébraux (glo-

bus palidus et putamen), du vermis cérébelleux et de l'aire corticale 4S (très discutée actuellement).

. Les centres activateurs situés au niveau de la partie supérieure de la formation réticulée ascendante et descendante du tronc cérébral, du cervelet, du noyau caudé et du thalamus.

Nous ne pourrions que renvoyer aux traités classiques de Physiologie sur ce sujet qui sortirait du cadre de notre étude. On sait d'ailleurs à quel point ces actions supra-segmentaires sont susceptibles de variations selon les espèces (cf. rôles respectifs du néo-cérébellum et de l'archéo et du paléo-cérébellum sur la régulation du tonus de posture selon le rang phylogénétique des espèces animales).

Conclusion :

Proprioceptif par essence même, le réflexe myotatique est beaucoup plus qu'un réflexe au sens courant du terme (qui évoque plutôt une action contingente).

En effet :

- . c'est l'élément constant du tonus musculaire, susceptible d'une longue durée sans fatigue,
- . il a une signification antigravifique, d'où son rôle particulièrement important chez l'Homme,
- . il joue un rôle coordinateur dans l'activité motrice,
- . comme les autres réflexes, il est susceptible d'une régulation supra-segmentaire.

12. PROCEDES USUELS D'ETUDE CLINIQUE

On utilise le plus souvent en clinique humaine la réflexographie avec choc sur le tendon d'Achille.

121. Principe et historique :

On cherche à obtenir une représentation graphique du mouvement du pied lors de la contraction réflexe du triceps sural déclenchée par la percussion (et donc l'élongation brève) du tendon d'Achille, par un marteau à réflexes.

C'est en 1924 que le réflexe achilléen fut enregistré pour la première fois par CHANEY. De nombreux travaux ont été publiés depuis, dont le rappel historique serait sans objet dans le présent travail.

De multiples dispositifs de détection ont été utilisés dans le but d'enregistrer le réflexogramme achilléen, on a proposé notamment :

- . l'enregistrement des déplacements d'un levier fixé au pied du patient (ECKERSTROM, 1939),

- . l'enregistrement des radiations émises par une source radioactive fixée à la pointe du pied (SHARPE, d'après DUMOULIN, 1968),

- . l'utilisation d'un levier attaché au talon, commandant un potentiomètre incorporé à un pont de WHEATSTONE,

- . l'utilisation d'un goniomètre enregistreur,

- . l'utilisation d'une solution d'électrolyte : on a fixé sur le pied une baguette métallique dont l'extrémité plonge dans cette solution.

La Néoncinégraphie proposée par LOMBARD (1968) et qui consistait en l'enregistrement optique direct sur film polaroid du déplacement d'un membre porteur de petites ampoules électriques. Ce procédé était essentiellement appliqué au réflexe patellaire et non achilléen.

La plupart de ces moyens, bien qu'ayant fait appel à beaucoup d'ingéniosité, ne se sont pas imposés en pratique.

122. Méthodes :

Pratiquement, le mouvement du pied est transformé en signal électrique, sous forme de la variation d'une différence de potentiel, amplifiée et enregistrée.

On utilise classiquement deux méthodes de détection : magnétique et optique, utilisant un système identique d'amplification et d'enregistrement.

1221. Méthodes de détection :

La détection est assurée par un transducteur (*).

- (*) Sans nous complaire à une vaine discussion de sémantique, ce terme vient d'être admis en français seulement en 1972. Le supplément du ROBERT le définit ainsi :

"Appareil électro-magnétique capable de passer d'un signal électrique à un effet mécanique ou acoustique, et inversement", LE ROBERT, suppl. 1972.

Auparavant, il existait une certaine ambiguïté entre la translation française des termes anglais "*transducer*", qui correspond mieux en l'occurrence, et "*transductor*", qui a un tout autre sens.

Rappelons les définitions classiques du WEBSTER :

Transducer : "a device actuated by power from one system and supplying power in the same or any other form to a second system (as a telephone receives actuated by electric power and applying acoustic power to the surrounding air, or quartz crystals that produce electric power from mechanical power)".

Transductor : "a device for controlling or regulating alternating current, consisting of two or more coils with a common magnetic core, with one of the coils carrying a direct current and the others carrying the alternating current".

Transducteur magnétique, les mouvements du pied sur lequel on a fixé une pastille aimantée, et devant lequel se trouve une bobine conductrice, déterminent un flux magnétique dont on mesure les variations (fig. 3a).

Transducteur optique, il existe 2 méthodes optiques :

- . la méthode par interruption,
- . la méthode par réflexion.

Méthode par interruption partielle du flux lumineux : le pied est intercalé entre une source lumineuse et une cellule photoélectrique. Le mouvement du pied, lors de la contraction du triceps, coupe le faisceau de lumière, provoquant une obturation plus ou moins complète vis-à-vis de la cellule (figure 3 b).

Méthode par réflexion : on utilise dans ce cas la réflexion d'un rayon lumineux sur la plante du pied, cellule photoélectrique et source lumineuse étant placées côte à côte. Tout se passe comme si la contraction du pied rapprochait la source lumineuse de son capteur et la différence de potentiel engendrée est donc fonction du rapprochement ou de l'éloignement de la partie éclairée du pied, par rapport à la cellule (figures 3 c et 3d).

1222. Système amplificateur et enregistreur :

Le signal électrique obtenu est amplifié grâce à un électrocardiographe usuel, en utilisant une des dérivations. Il faut toutefois veiller à ce que la constante de temps de l'amplificateur de cet appareil soit suffisamment longue ce qui est le cas courant des E.C.G., dont la constante de temps est au moins de 2 sec.

Les enregistrements peuvent être effectués de trois manières : à encre, à jet d'encre, ou sur papier thermo-sensible. C'est ce dernier procédé que nous avons utilisé.

TYPES DIVERS D'ENREGISTREMENT USUEL DU REFLEXE ACHILLEEN

FIG. 3 a

Enregistrement par la méthode magnétique (courant induit).

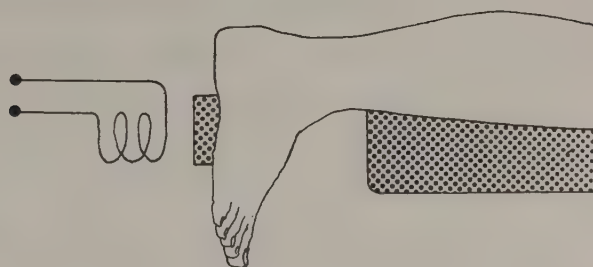


FIG. 3 b

Enregistrement selon la méthode optique par extinction progressive d'un cône lumineux (source S) vu par un récepteur R (vue plongeante).

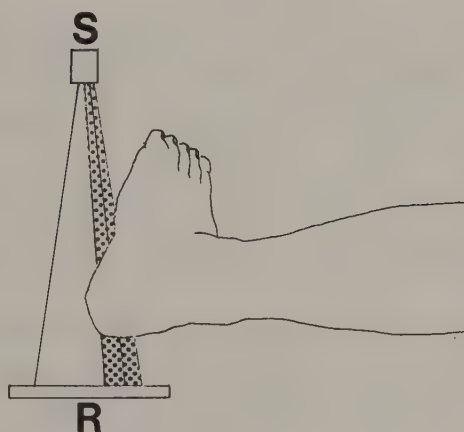
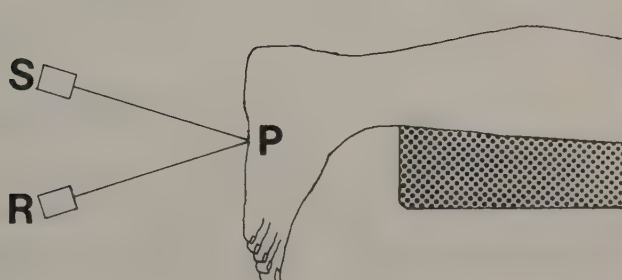


FIG. 3 c

Enregistrement selon la méthode optique, par réflexion. La source S et le récepteur R sont du même côté du pied, et la contraction provoque la diminution du trajet total SP-PR.



123. Courbes :

1231. Selon le système de transmission :

. Méthode magnétique : on mesure l'intervalle correspondant au temps de contraction. Il débute avec le coup de marteau à réflexes, et se termine lorsque la courbe revient à la ligne de base.

Comme y insiste DUMOULIN (1968), le temps de décontraction est sujet à erreur, et n'est pas retenu en général.

De toute manière, ce n'est pas la méthode que nous avons utilisée. Elle tend d'ailleurs à être caduque au profit de la méthode optique.

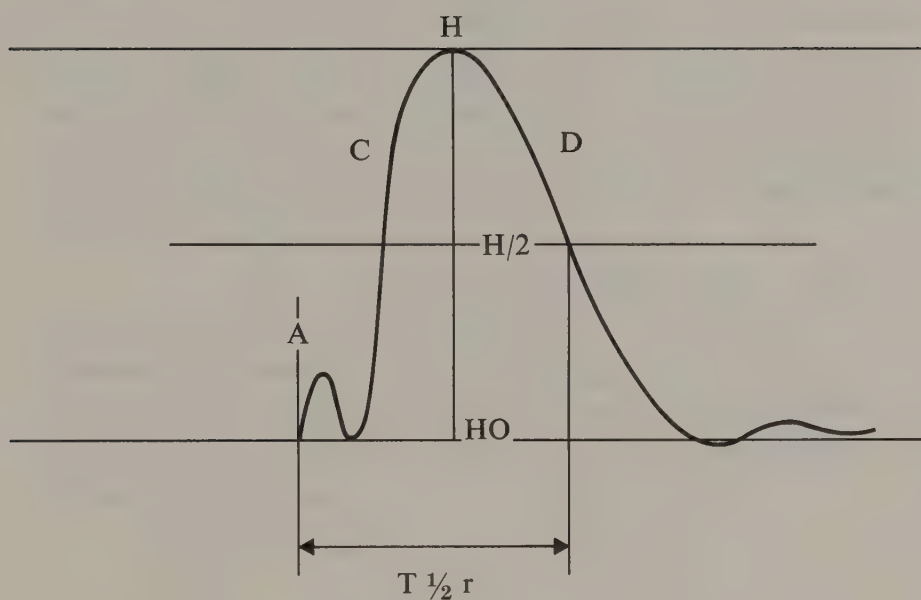
. Méthode optique : c'est par définition le temps de demi-décontraction (ou demi-relaxation), que l'on retient comme mesure. Ceci parce que la fin de la décontraction est souvent mal repérable à cause d'une succession d'ondes amorties de niveau divers par rapport à la ligne de base antérieure toujours plus nettement définie.

Pour déterminer ce temps, on trace une ligne verticale passant par le sommet de la courbe. Au milieu de cette ligne hho, on tire une horizontale parallèle à la ligne de base qui coupe la partie décroissante de la courbe. On abaisse depuis ce point une verticale qui définit au niveau de la ligne de base le temps de demi-décontraction (figure 4).

Il y a évidemment lieu de ne retenir que les courbes dont l'interprétation géométrique peut être aisément assurée.

1232. Valeurs normales :

L'interprétation clinique des résultats, et la détermination de leur caractère pathologique ou non, suppose évidemment la référence à des normes physiologiques.



Temps de $\frac{1}{2}$ relaxation du réflexogramme achilléen chez l'Homme ($T \frac{1}{2} r$).

A = artefact de stimulation (coup du marteau à réflexe sur le tendon d'Achille)

C = contraction

D = décontraction

H = hauteur maximum de la contraction

$\frac{H}{2}$ = hauteur de la $\frac{1}{2}$ précédente

H_o = hauteur de la ligne de base.

FIG. 4

C'est précisément là que réside la difficulté majeure, car l'accord est loin d'être établi entre les divers auteurs à ce sujet (v. notamment : DUMOULIN, 1968), ce qui implique un écart-type assez grand.

A titre indicatif, on peut admettre comme valeurs normales pour les tranches d'âge de nos sujets 300 ± 60 ms. L'écart-type de 30 ms est fonction de différents facteurs physiologiques et instrumentaux d'analyse parfois complexe (HARICHAUX, BRESSON, MOCIE et ALSAC, recherches en cours).

Or, dans le présent travail nous n'avons pas eu à affronter cette difficulté, car nous avons précisément à comparer chez un même sujet, l'évolution du temps de relaxation avant, pendant et après refroidissement. Nous justifierons cette position dans notre discussion statistique.

- DEUXIEME PARTIE -

RESULTATS PERSONNELS

Comme nous l'avons indiqué en introduction, l'objet de notre travail était d'étudier l'action du froid sur la contractilité du triceps sural en prenant comme test le réflexe achilléen.

Nous décrirons nos résultats personnels en fonction :

21. De la technique personnelle employée,

211. Choix des sujets

212. Méthode de refroidissement

213. Procédé d'enregistrement du réflexe achilléen

22. De l'analyse statistique de nos résultats.

21. TECHNIQUE

Notre but n'étant pas l'analyse comparée des réponses nerveuses et musculaires, nous n'avons pas utilisé l'E.M.G., mais la réflexographie achilléenne chez des sujets sains.

211. Choix des sujets :

Notre travail a porté sur 53 sujets sains (1), de 19 à 45 ans, répartis en 31 hommes et 22 femmes.

(1) Nous remercions les élèves de l'Ecole de Cadres de Kinésithérapeutes de BOIS-LARRIS et le personnel du Service d'Explorations Fonctionnelles du Centre Hospitalier d'AMIENS.

212. Méthode de refroidissement :

Nous avons toujours utilisé un refroidissement local, pendant 20 minutes, appliqué de la manière suivante :

- . sur le muscle : massage au cube de glace, du creux poplité au tiers inférieur de la jambe (1), de haut en bas durant 20 minutes (12 sujets)
- . en enveloppement du corps musculaire (11 sujets) par une serviette éponge trempée dans de la glace pilée (2) (facilement retenue sur ce support).

213. Technique d'enregistrement :

Nous décrirons successivement :

- 2131. La position du patient
- 2132. La technique de percussion
- 2133. Le matériel utilisé

2131. Position du patient :

Nous avons toujours étudié le pied droit chez tous nos sujets, confortablement agenouillés sur une chaise rembourrée avec un dossier qui leur sert d'appui pour les mains, tandis que le membre inférieur gauche reçoit au sol l'appui du corps du sujet. De la sorte on obtient la meilleure relaxation possible du membre inférieur étudié.

2132. Percussion :

Nous avons utilisé la percussion manuelle avec un marteau à réflexes. Les réflexogrammes ont toujours été pris par le même opérateur, ce qui rend inutile un dispositif de frappe automatique, comme nous le verrons plus loin par l'analyse statistique, en ce qui concerne

- (1) avec remplacement du cube de glace aussi souvent que nécessaire.
- (2) la serviette éponge remplacée toutes les 30 secondes.

tout au moins la méthodologie propre du présent travail (comparaison avant et après refroidissement).

2133. Matériel utilisé :

. Dispositif de détection :

Nous avons utilisé un transducteur optique à réflexion (voir 1221), dont le signal électrique nous paraît représenter une variation plus linéaire par rapport au déplacement que dans le cas des autres méthodes, et en particulier l'interruption du flux lumineux qui tend vers un système de tout ou rien (fig. 5).

. Dispositif d'enregistrement :

Nous avons utilisé un électrocardiographe standard à papier thermosensible, réglé évidemment sur la plus grande vitesse possible (ici 50 mm/seconde, soit 1 mm = 20 millisecondes).

214. Protocole :

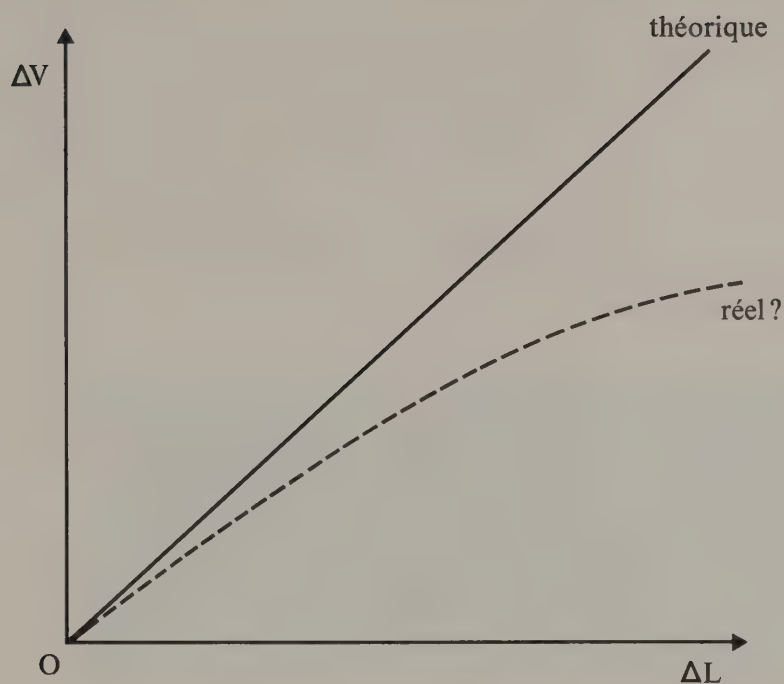
Le protocole a toujours été le même pour chaque sujet.

Le réflexogramme était enregistré et mesuré :

- avant refroidissement (t_0)
- pendant le refroidissement aux temps 5, 10, 15 et 20 minutes (t_5)
- après le refroidissement, 30, 60, 120 minutes après la fin du refroidissement (t_{30})

A chaque temps du réflexogramme achilléen décrit ci-dessus, les mesures portaient sur au moins 10 enregistrements (à raison d'une stimulation toutes les 2 secondes).

A titre d'exemple, nous présentons dans les pages suivantes les tracés réalisés pour un sujet (tableaux 1 à 8 inclus).



Non linéarité possible de la variation ΔV du potentiel de sortie du réflexographe et de la variation ΔL du raccourcissement (contraction).

La courbe théorique (Théor) serait linéaire.

La réponse des réflexographes par réflexion d'un flux lumineux sur une cellule photo-électrique s'en rapproche plus que celle des réflexographes par interruption d'un flux lumineux.

Dans le cas de la courbe (réel ?), la hauteur de $\frac{1}{2}$ relaxation est plus sujette à caution.

FIG. 5

Michel C.

- temps : 0

m = 255

= 7,1

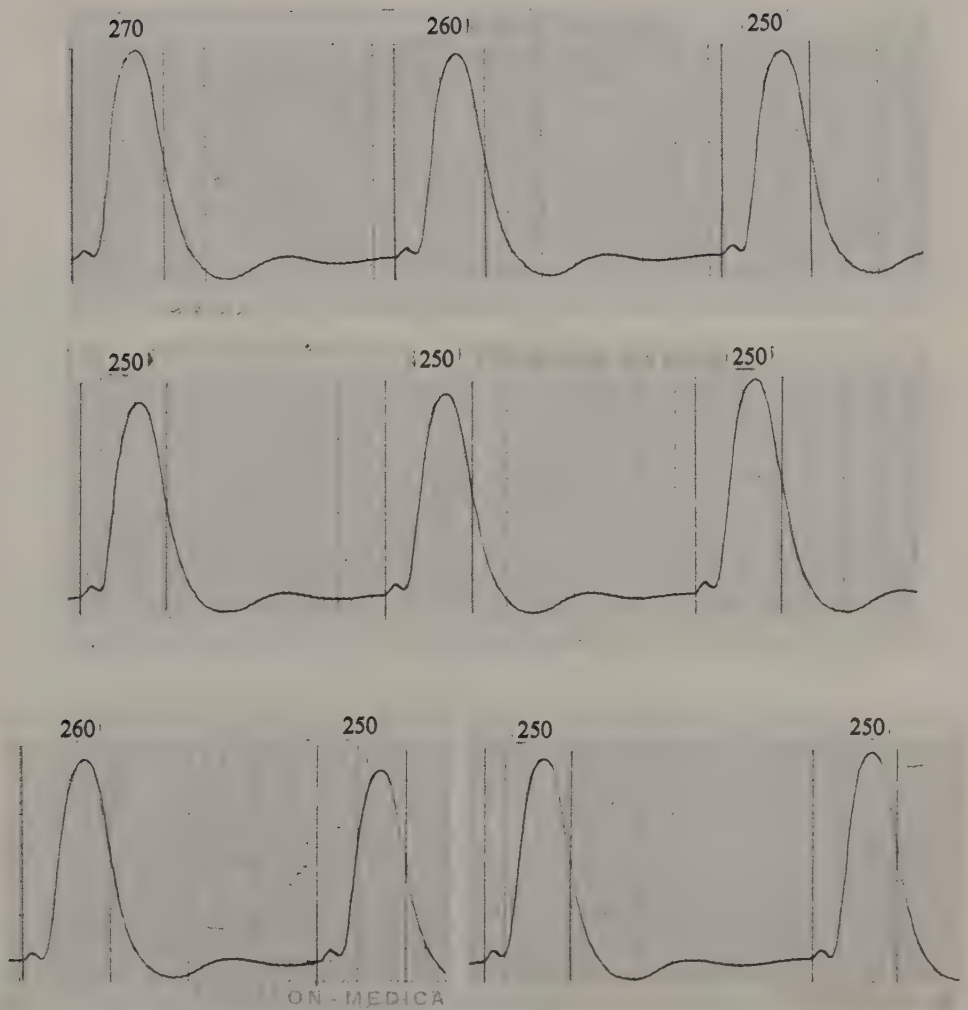
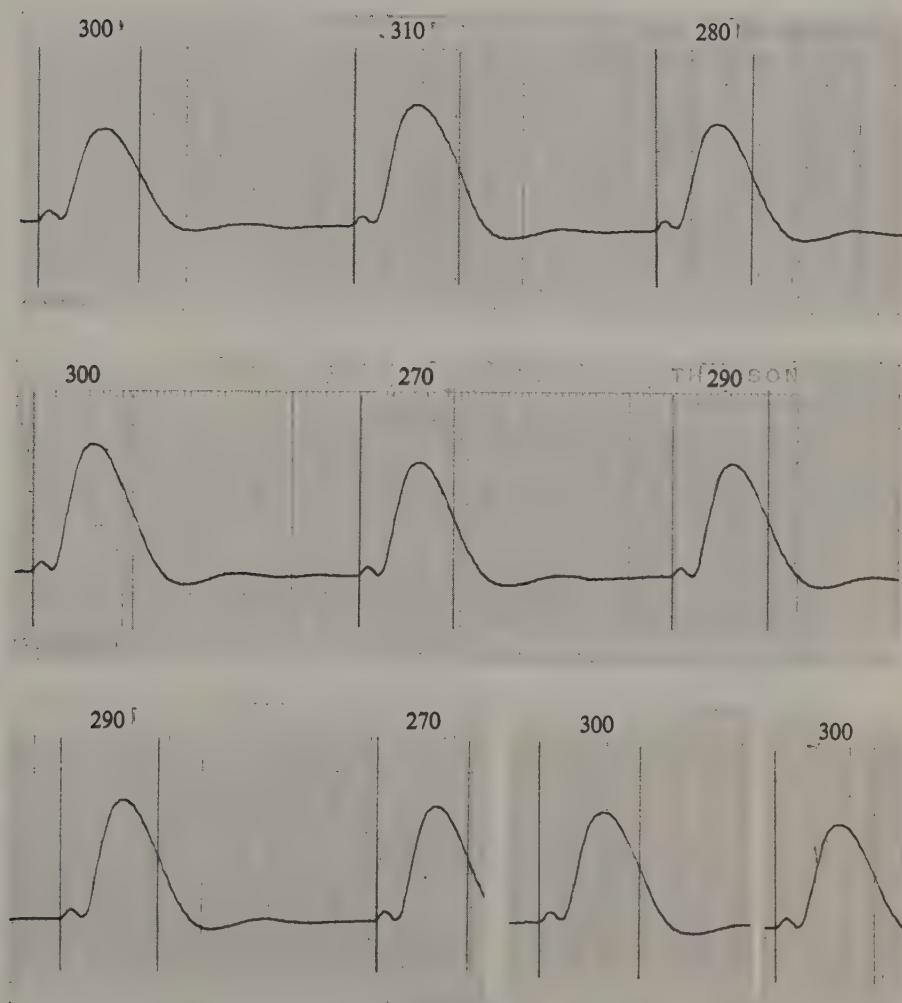


Tableau 1.

Michel C.

Temps : 5

Type de refroidissement : massage au cube de glace
du creux poplité au tiers inférieur de la jambe.



$$m = 291 \quad = 13,7$$

Tableau 2.

Michel C.

Temps : 10

Type de refroidissement : Massage au cube de glace
du creux poplité au tiers inférieur de la jambe.

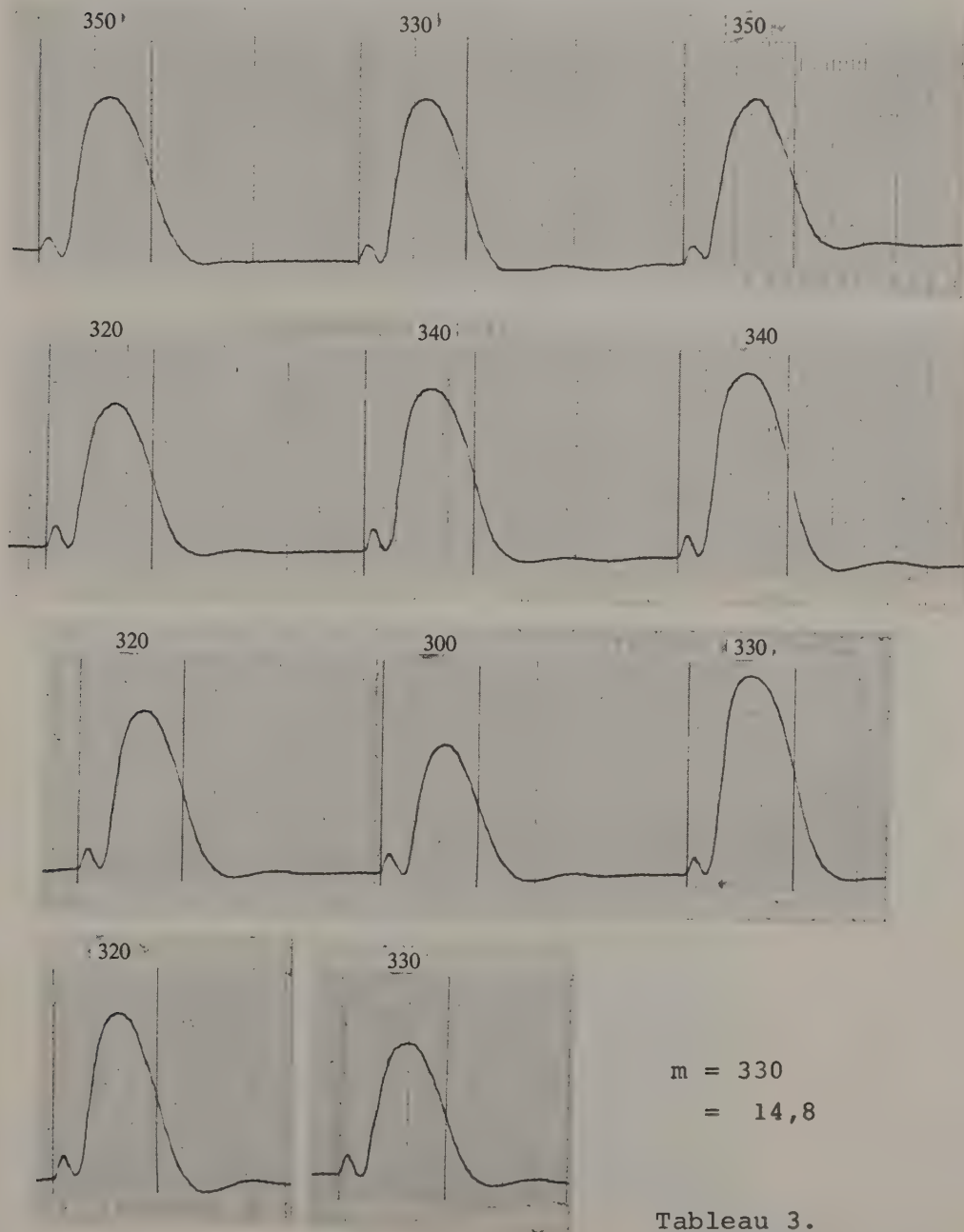


Tableau 3.

Michel C.

Temps : 15

Type de refroidissement : massage au cube de glace du creux poplité au tiers inférieur de la jambe.

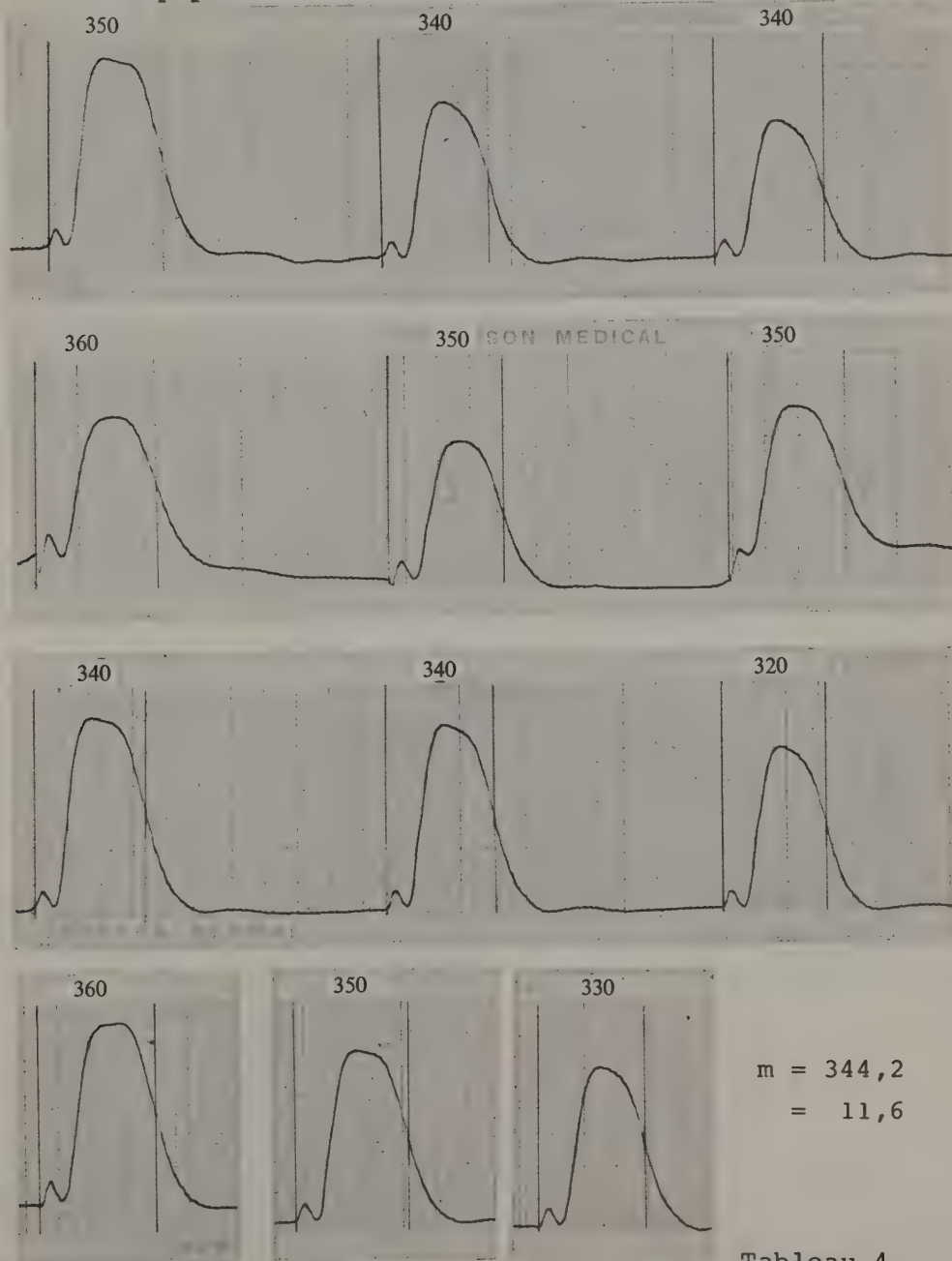


Tableau 4.

Michel C.

Temps : 20

Type de refroidissement : massage au cube de glace du creux poplité au tiers inférieur de la jambe.

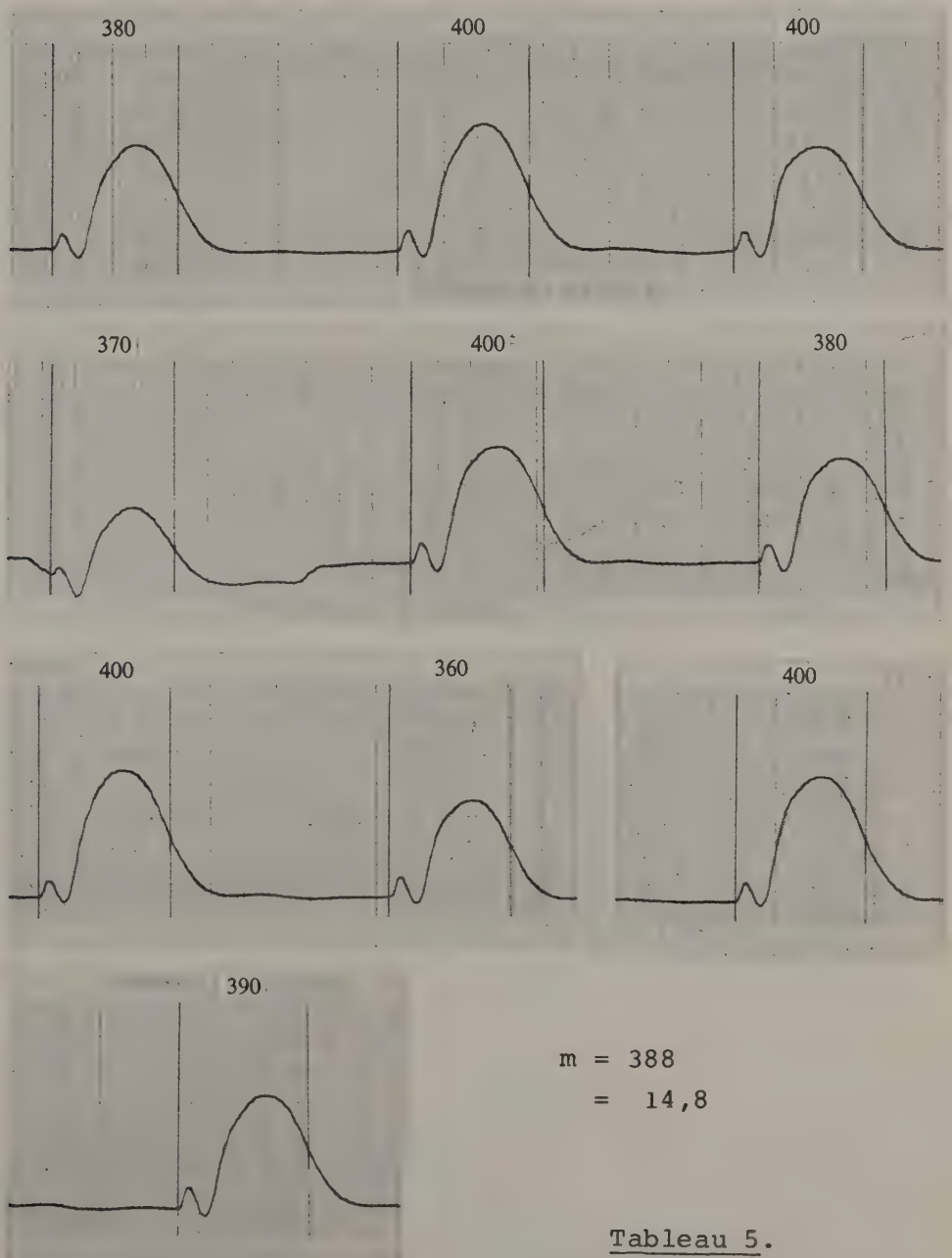
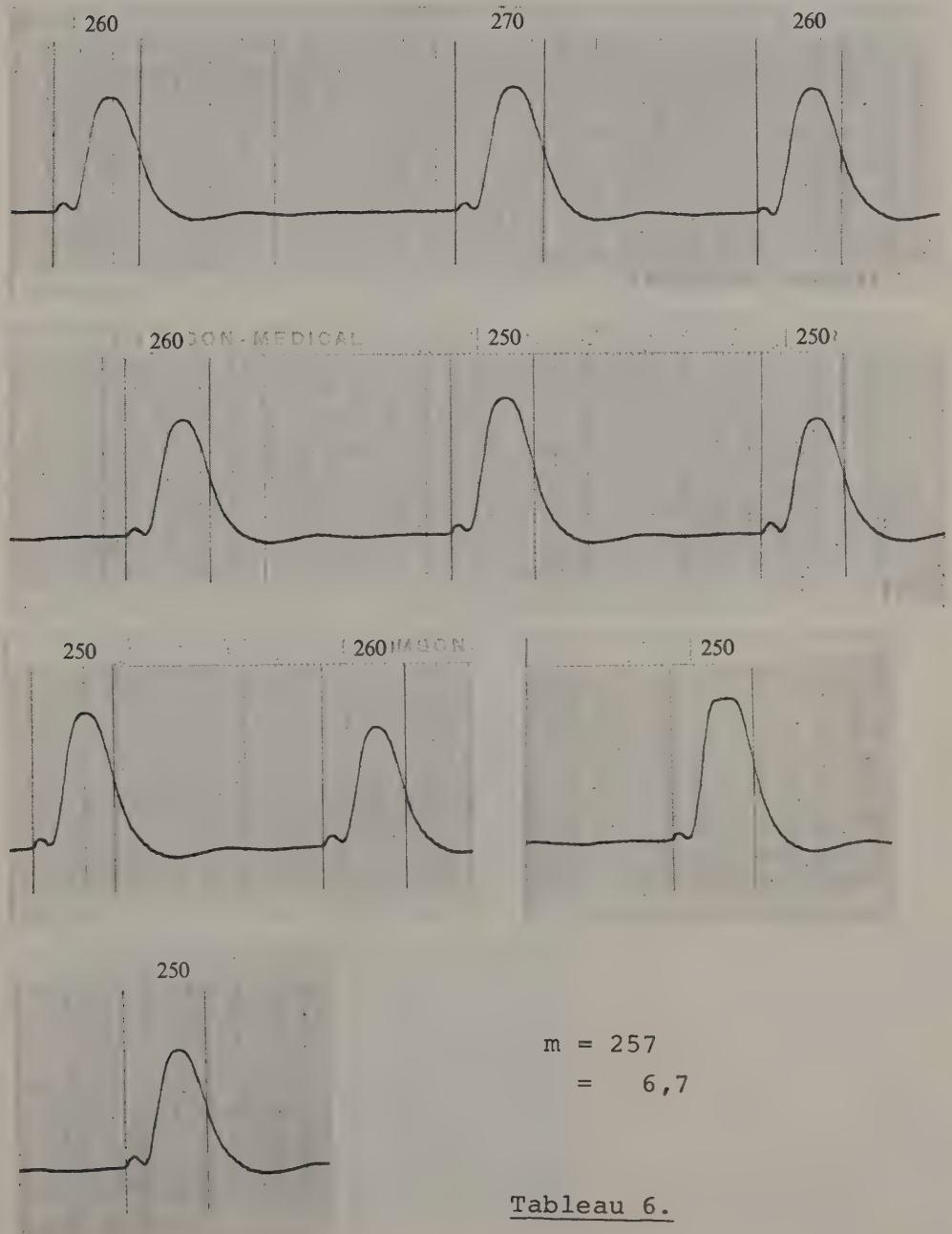


Tableau 5.

Michel C.

Temps : 30 minutes après l'arrêt du refroidissement

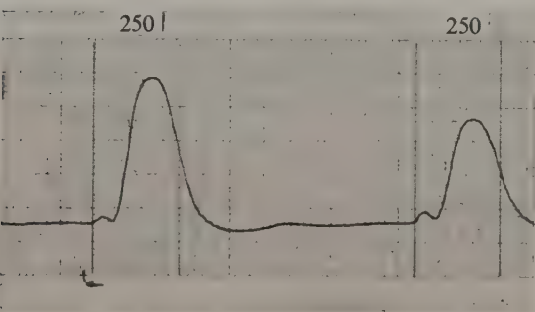
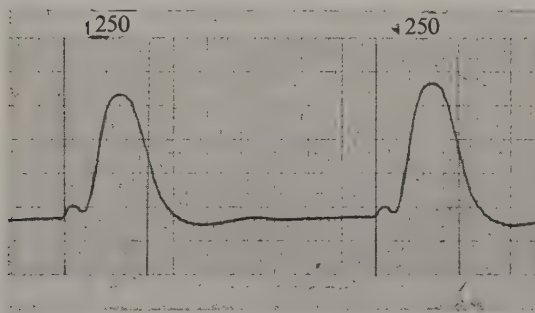
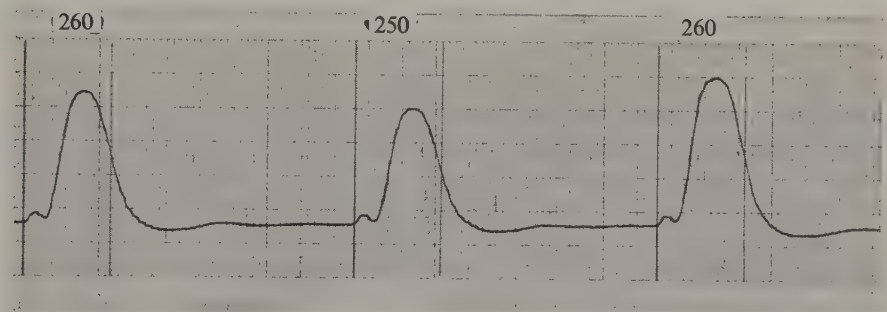
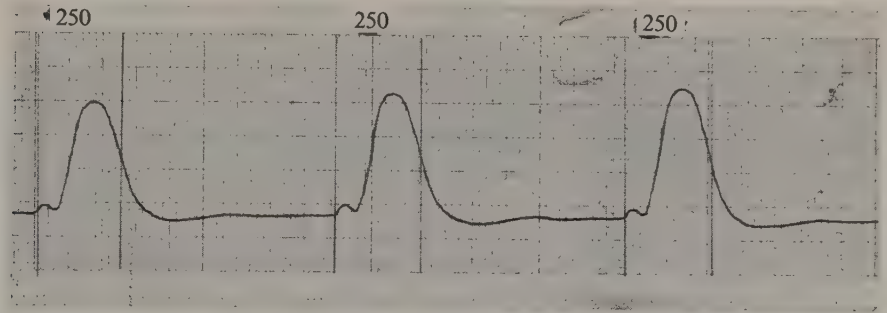
Type de refroidissement : massage au cube de glace du creux poplité au tiers inférieur de la jambe.



Michel C.

Temps : 1 heure après l'arrêt du refroidissement

Type de refroidissement : massage au cube de glace du creux poplité au tiers inférieur de la jambe.



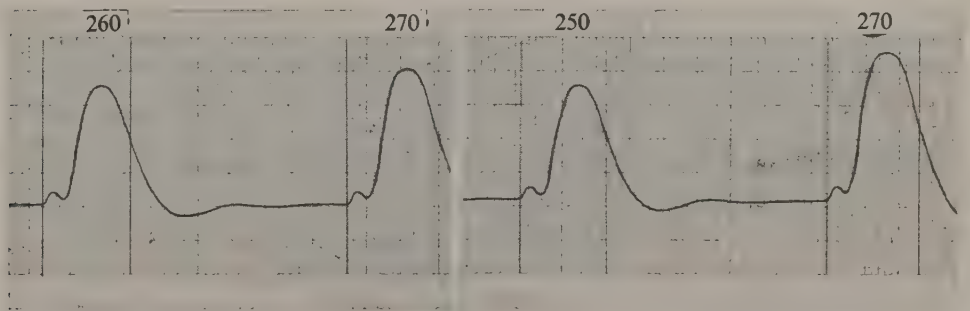
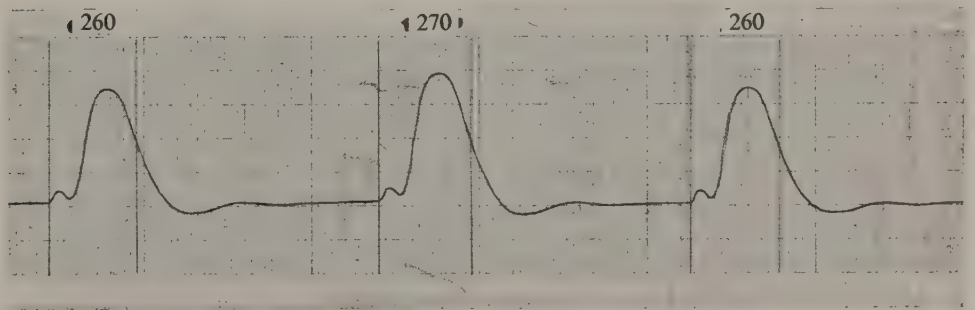
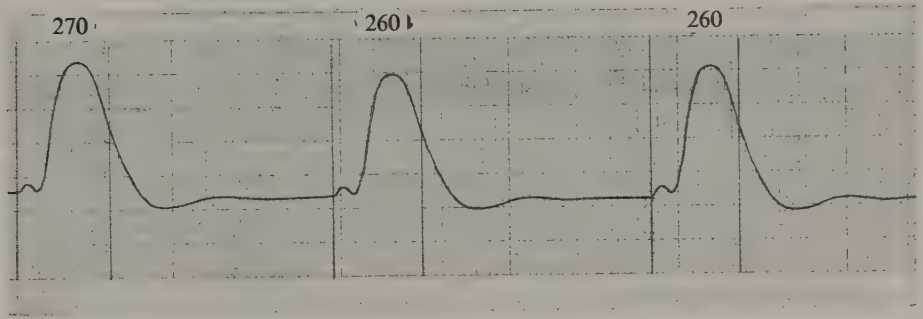
$$\begin{aligned} m &= 252 \\ &= 4,22 \end{aligned}$$

Tableau 7.

Michel C.

Temps : 120 minutes après l'arrêt du refroidissement

Type de refroidissement : massage au cube de glace du creux poplité au tiers inférieur de la jambe.



m = 263

= 6,7

Tableau 8.

22. RESULTATS

Pour chacune des 4 séries expérimentales, nous présenterons toujours le résultat sous forme d'un tableau général des temps de demi-relaxation et des écarts-types pour tous les sujets de la série, à chaque temps (tableaux 9 à 17). (*)

Pour illustrer ces tableaux, nous donnerons également un graphique représentant ces valeurs chez un sujet (tableau 18).

Le test "t" sera présenté dans la discussion des résultats.

- (*) Nos écart-types ont été calculés très simplement en utilisant au Laboratoire de Physiologie une machine à calculer à programmation par touches (et non par cartes magnétiques), type Unicom 500 P/4.

Ces machines permettent directement, sur toute série de mesure, le calcul d'un paramètre programmé, ici :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n - 1}}$$

beaucoup plus rapidement que tout autre dispositif, y compris à carte.

MASSAGE CUBE DE GLACE DU CREUX POPLITE AU TIERS INFÉRIEUR DE LA JAMBE

	Isabelle V.	Josette D.	Catherine F.	Michèle M.	Michel C.	Alain B.
	$T \frac{1}{2}$	$T \frac{1}{2}$	$T \frac{1}{2}$	$T \frac{1}{2}$	$T \frac{1}{2}$	$T \frac{1}{2}$
	σ	σ	σ	σ	σ	σ
0	250	286	304	307	255	254
M + 5	291	303	337	310	291	271
M + 10	329	338	365	346	330	307
M + 15	354	392	410	404	344	344
M + 20	402	504	399	448	388	388
A + 30	283	292	321	347	257	264
A + 60	247	301	296	304	252	252
A + 120	247	279	275	290	263	243

MASSAGE CUBE DE GLACE DU CREUX POPLITE AU TIERS INFÉRIEUR DE LA JAMBE (suite)

	Jan K.	Claude P.	Yves B.	Geneviève H.	Michèle J.	J. François J.						
	$T \frac{1}{2}$	$T \frac{1}{2}$	$T \frac{1}{2}$	$T \frac{1}{2}$	$T \frac{1}{2}$	$T \frac{1}{2}$						
	6	6	6	6	6	6						
0	278	10,8	308	10,5	268	12	266	11,5	246	11,1	261	5,6
M + 5	318	16,6	332	11,3	306	15,4	293	10,1	253	18,2	280	4,4
M + 10	393	27,4	420	17	366	21,4	304	17,2	238	9,8	318	13,4
M + 15	444	38,7	435	17,8	458	37,1	341	23,5	266	7,7	343	8,9
M + 20	503	11,1	566	24,4	526	27	396	11,4	285	5,2	374	12,6
A + 30	265	7	285	7,1	328	12,8	335	16,2	268	15,3	308	11,20
A + 60	270	6,9	289	8,7	309	12,5	315	10	272	7,5	290	11,8
A + 120	256	5,1	290	8,6	309	7,8	312'	14,2	256	12,1	276	8,4

ENVELOPPMENT DE GLACE DU CORPS MUSCULAIRE

	Marie-Jeanne	Arlette C.	Francis C.	Bernadette G.	Michèle C.	David C.						
	$\frac{1}{T} r$	$\frac{1}{T} r$	$\frac{1}{T} r$	$\frac{1}{T} r$	$\frac{1}{T} r$	$\frac{1}{T} t$						
	6	6	6	6	6	6						
0	277	12,5	283	14,1	264	5,1	275	13,8	253	8,2	232	17,5
E + 5	269	8,7	230	6,6	278	12,2	273	12,8	228	9,1	271	11,9
E + 10	298	5,9	316	10,7	306	9,6	310	9,4	260	12,2	310	10,5
E + 15	373	37,7	395	15	366	19,5	350	27,3	323	27,5	402	42,4
E + 20	419	61,5	368	15,4	380	9,4	401	22	365	35	339	20,2
A + 30	302	13,1	334	8,4	286	8,4	316	10	242	9,1	268	9,1
A + 60	245	14,3	283	14,1	233	8,2	287	9	232	9,1	263	13,3
A + 120	229	5,6	289	8,7	254	9,6	259	5	218	7,8	237	11,5

ENVELOPPMENT DE GLACE DU CORPS MUSCULAIRE (suite)

	Arlette D.	Ernest W.	Chantal S.	Daniel V.	Vincent R.
	$T \frac{1}{2}$ r	$T \frac{1}{2}$ r	$T \frac{1}{2}$ r	$T \frac{1}{2}$ r	$T \frac{1}{2}$ r
	6	6	6	6	6
0	286	239	252	295	259
	9,6	6,6	10,3	9,7	7,8
E + 5	325	273	296	308	269
	12,4	6,5	8,4	9,1	11
E + 10	400	279	374	370	297
	16,3	7	44,2	10	8,2
E + 15	462	315		443	357
	20,9	16		25	44,3
E + 20	511			480	430
	22,3			28,2	38,5
A + 30	358	263		313	279
	11,3	10,5		13,5	6,4
A + 60	361	241	283	283	273
	11,9	11,1	8,63	10,7	18,2
A + 120	339	262	259	295	248
	11	9,6	7,8	9	14

- Tableau 12 -

MASSAGE AU CUBE DE GLACE SUR LE TENDON D'ACHILLE

	Jean H.	Gérard H.	Christian M.	Francis C.	Yves B.	Geneviève H.						
	$T \frac{1}{2}$	$T \frac{1}{2}$	$T \frac{1}{2}$	$T \frac{1}{2}$	$T \frac{1}{2}$	$T \frac{1}{2}$						
	6	6	6	6	6	6						
0	272	4,5	247	4,8	267	6,5	246	6,4	272	9	280	5,2
M + 5	296	9,7	248	9,8	288	12,1	285	19,7	287	10,1	315	10
M + 10	328	9,8	270	10,4	323	23,1	291	9,9	317	18,1	345	9
M + 15	352	6,3	290	15,1	368	35,2	284	10,2	365	21,1	327	14,2
M + 20	324	11,3	278	9,1	349	22,5	300	18,1	347	15,5	313	25,7
A + 30	259	7	254	7,6	275	12,6	253	8	312	9,1	302	19,7
A + 60	256	8,1	264	5	275	12,4	230	7,9	290	6,9	304	5
A + 120	261	13,3	260	8,1	290	26,7	277	4,7	295	5,3	273	12,9

MASSAGE AU CUBE DE GLACE SUR LE TENDON D'ACHILLE (suite)

	Bernadette R.	Michèle J.	Isabelle V.	Françoise M.	M. Jeanne L.	Eric V.
	$T \frac{1}{2}$	$T \frac{1}{2}$	$T \frac{1}{2}$	$T \frac{1}{2}$	$T \frac{1}{2}$	$T \frac{1}{2}$
	6	6	6	6	6	6
0	276	249	260	282	231	255
	14,9	2,7	20	6,4	7,3	10,8
M + 5	294	265	280	309	260	9
	7,7	6,7	28,9	22,9	9	
M + 10	322	275	328	313	315	23,6
	19,2	20,1	38,6	19,7	23,8	
M + 15	293	267	354	346	320	23,8
	16,8	10,5	27,1	16,1	23,8	
M + 20	262	259	334	353	349	18,9
	21,6	9,9	34,7	20	18,9	
A + 30	296	258	275	273	250	230
	5,6	8,7	14,4	9	4,4	10
A + 60	290	282	270	297	250	260
	11,2	7,5	9,1	8,6	4,7	10
A + 120	252	216	265	286	251	249
	11,3	9,6	14,4	15,7	7,1	8,3

MASSAGE AU CUBE DE GLACE SUR LE TENDON D'ACHILLE (suite)

	Christian D.	Jean-Marie D.	Pierre B.	Bernard C.	Christian V.
	$\frac{1}{2} r$	$\frac{1}{2} r$	$\frac{1}{2} r$	$\frac{1}{2} r$	$\frac{1}{2} r$
	6	6	6	6	6
0	237	9	241	7,3	313
M + 5	285	10,4	247	12,5	292
M + 10	279	7	286	8,4	310
M + 15	267	8	296	12,5	315
M + 20	302	7,8	302	14,1	324
				18,9	326
A + 30	238	5,8	228	3,6	307
A + 60	265	6,9	239	5,4	304
A + 120	277	6,2	204	11,2	298
				7,9	298
				6,9	301
				10,3	274
				4,1	292
				9,3	315
				9,2	301
					8,7

ENVELOPPÉMENT DE GLACE DU TENDON D'ACHILLE

	Pierre B.	Michèle J.	Jean H.	Christian M.	Bernard J.	M. Rose	A.
	$\frac{1}{2} r$	$\frac{1}{2} r$	$\frac{1}{2} r$	$\frac{1}{2} r$	$\frac{1}{2} r$	$\frac{1}{2} r$	
	6	6	6	6	6	6	6
0	300	251	271	260	265	250	10,9
E + 5	308	275	285	275	243	243	8,9
E + 10	337	302	306	321	257	249	2,7
E + 15	405	309	375	397	269	234	12,3
E + 20	461	324	510	429	275	270	27,6
A + 30	290	265	300	315	258	246	8,1
A + 60	285	268	270	246	270	255	11,6
A + 120	285	271	232	228	283	255	16,2

ENVELOPPMENT DE GLACE DU TENDON D'ACHILLE (suite)

	Jean-Pierre S.	Gérard H.	M. Noëlle D.	Raymond J.	Christian R.	Ernest W.	Michèle G.
	$\frac{1}{2} r$	$\frac{1}{2} r$	$\frac{1}{2} r$	$\frac{1}{2} r$	$\frac{1}{2} r$	$\frac{1}{2} r$	$\frac{1}{2} r$
	6	6	6	6	6	6	6
0	262	240	261	274	241	235	210
E + 5	264	252	266	286	275	234	228
E + 10	294	285	259	314	280	240	211
E + 15	306	280	288	327	285	257	238
E + 20	313	295	311	322	300	267	235
A + 30	271	259	301	277	270	245	230
A + 60	265	289	282	276	271	245	228
A + 120	260	265	240	298	258	219	241

EVOLUTION DES TEMPS DE DEMI-RELAXATION ET DES ECARTS-TYPES
EN FONCTION DU TEMPS PENDANT ET APRES REFROIDISSEMENT

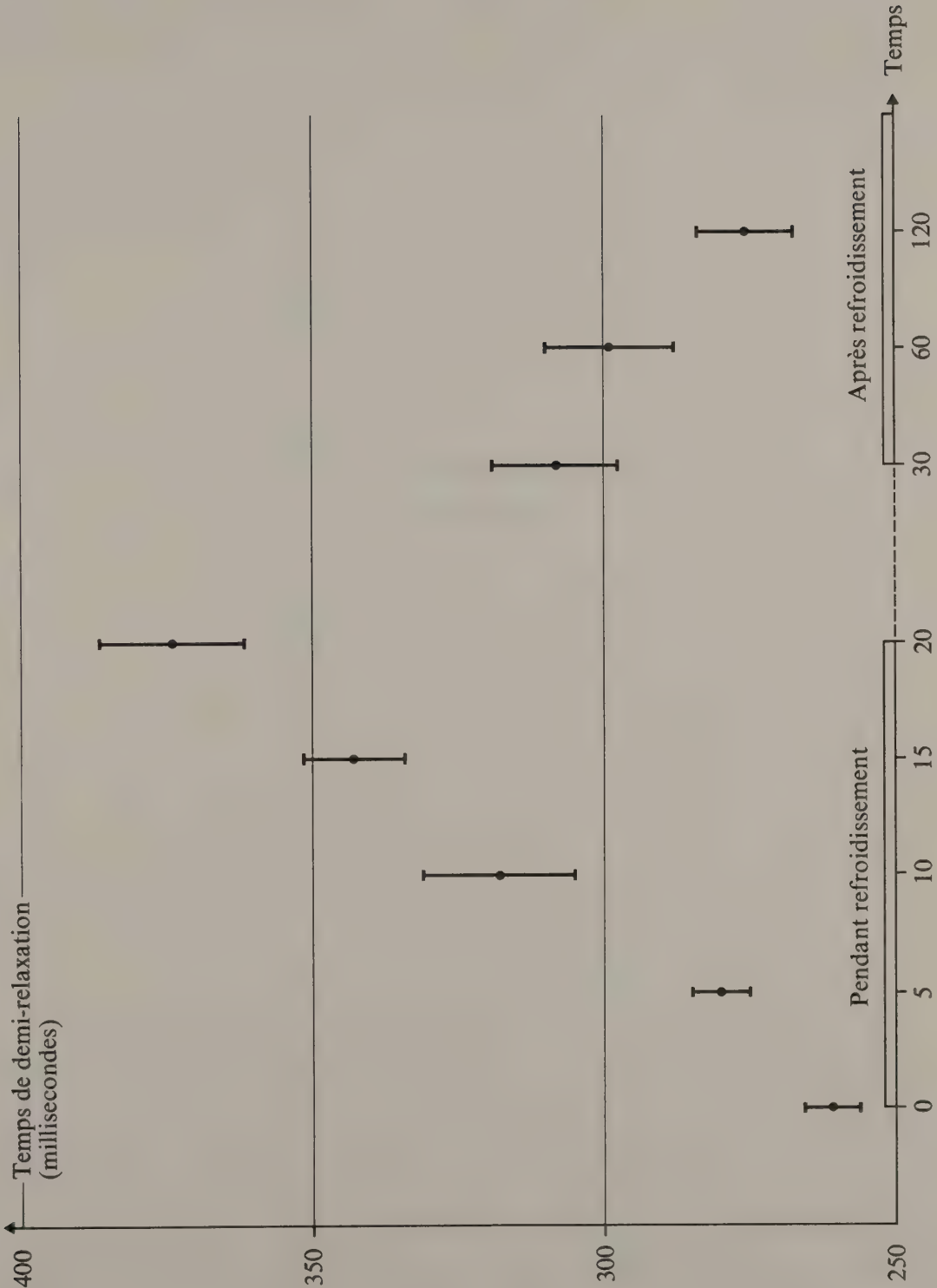


Tableau 18

- TROISIEME PARTIE -

DISCUSSION

Cette dernière partie sera divisée en 2 chapitres :

- . le premier sera surtout constitué par une discussion statistique et méthodologique de nos résultats. Les facteurs de cette discussion seront axés dans le sens d'une possibilité d'application thérapeutique.
- . le second chapitre sera surtout un essai d'interprétation.

31. DISCUSSION DE NOS RESULTATS PERSONNELS

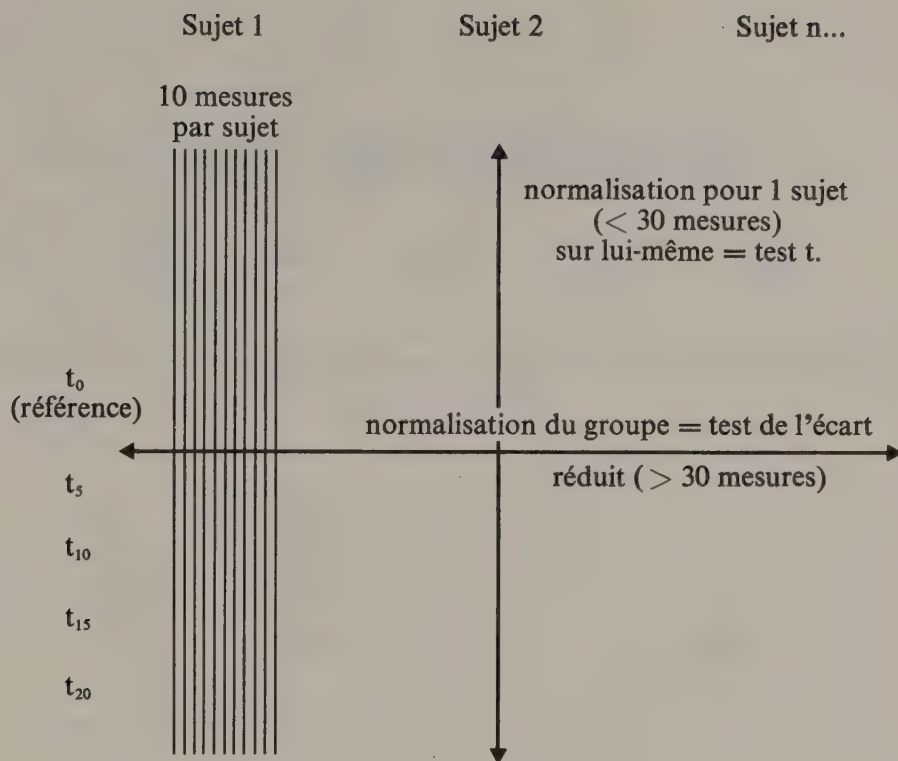
Si les tableaux et les graphiques présentés précédemment paraissent significatifs en ce qui concerne l'action du froid sur le muscle (massages, enveloppements), il est nécessaire de compléter le dossier statistique des comparaisons.

Il s'agit pour nous de comparer chez un même sujet la valeur moyenne du réflexe achilléen au temps 0 et la valeur moyenne du réflexe achilléen aux temps 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120 décrits ci-dessus.

311. Position de notre problème statistique :

Notre méthodologie et notre population statistique présentent une caractéristique toute particulière, celle de permettre, pour ne pas dire d'imposer, le calcul statistique selon 2 axes différents (fig. 6).

3111. Puisqu'il s'agit de mesures comparatives chez un même sujet, entre une valeur normale (t_0) et une valeur au temps (t_n), le calcul qui s'impose en ce cas



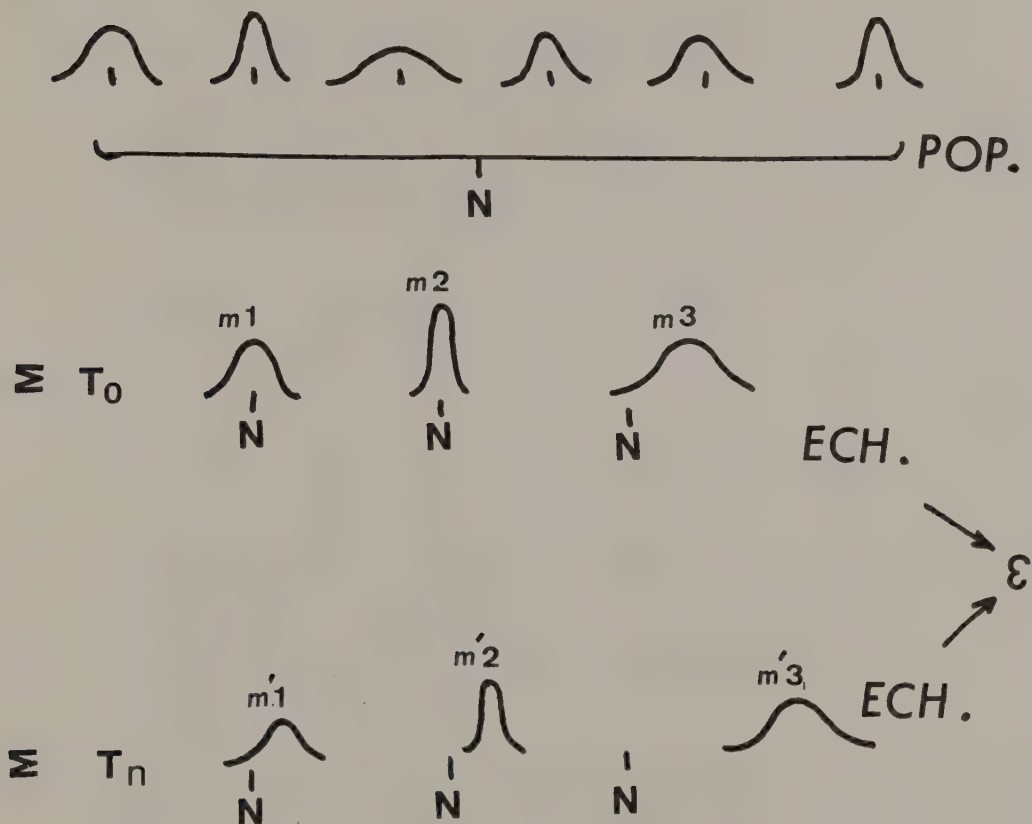
COMPARAISONS STATISTIQUES

- 1) D'un sujet par rapport à lui-même si on dispose de plusieurs mesures au temps t_0 (pris comme référence) et de plusieurs mesures au temps t_n = comparaison verticale par test t.
- 2) Des mesures d'un groupe de sujets au temps t_0 par rapport aux mesures du même groupe de sujets au temps t_n = comparaison horizontale par l'écart réduit (voir figure 7 et texte).

FIG. 6

FIG. 7

COMPARAISON STATISTIQUE HORIZONTALE EXCLUANT
LES DIFFICULTES DE NORMALISATION



La norme N d'une population P n'est pas connue dans le cas présent.

Cependant, par rapport à cette norme supposée, 3 sujets au temps T_0 ont des valeurs moyennes m_1 , m_2 et m_3 (dont par exemple m_3 peut lui même être différent de 2σ par rapport aux normes). C'est l'échantillon.

Au temps T_n , les 3 moyennes des mêmes sujets sont devenues m'_1 , m'_2 et m'_3 , qui permettent la comparaison par écart réduit ϵ avec m_1 , m_2 et m_3 .

Cette extension statistique élude a posteriori toute référence à une norme et toute difficulté d'interprétation technologique.

est le test t de Student car la somme des nombres de mesures en t_0 et t_n est inférieure à 30 (20 et 25 dans notre cas, ce qui affine d'ailleurs le test).

Ceci est une comparaison verticale (1).

3112. Mais, en même temps, et puisque nous avons des séries et des temps homogènes, on peut également être tenté de comparer la moyenne générale des valeurs au temps (t_0) sur un groupe et la moyenne générale au temps (t_n) des mesures sur le même échantillon.

D'un point de vue théorique, il faut comparer la moyenne de l'échantillon au temps t_0 à la moyenne d'une population normale (l'échantillon devant être représentatif de la population, l'écart par rapport à elle n'est pas significatif), puis au temps t_n par rapport à la même moyenne de la population, pour savoir si l'écart ainsi calculé est significatif. Mais en pratique, une extension communément faite en la matière consiste à confondre l'échantillon avant expérimentation avec une population, et à calculer la signification de l'écart réduit après expérimentation par rapport à la moyenne de l'échantillon avant.

Or, nous avons rappelé (voir ci-dessus 1232) la difficulté, actuellement non résolue par quiconque, d'une normalisation satisfaisante du réflexogramme achilléen.

Dans le cas présent de notre travail, le grand nombre de nos mesures chez chaque sujet d'une même catégorie peut, à la limite, nous autoriser à admettre, dans notre cas, que l'échantillon représente la population.

- (1) En toute rigueur, signalons que la valeur moyenne du réflexogramme évolue chez le même sujet en fonction du nycthémère (HARICHAUX, BRESSON, MOCIE et ALSAC, recherches en cours), mais que cette variation est largement inférieure à l'erreur de mesures dans le cas présent, surtout sur le laps de temps réduit de la mesure.

Cette approximation étant admise, la comparaison horizontale ainsi rendue possible élimine ipso facto toute difficulté de normalisation et même de fluctuation technologique (figure 7).

312. Rappel des formules utilisées :

Nous rappellerons les formules utilisées dans les deux cas.

3121. Test t de Student :

$$t = \frac{m_A - m_B}{\sqrt{\frac{S^2}{n_A} + \frac{S^2}{n_B}}}$$

où m_A et m_B sont les moyennes à comparer, S^2 la variance, supposée commune, selon :

$$S^2 = \frac{\sum (x - m_A)^2 + \sum (x - m_B)^2}{n_A + n_B - 2}$$

n_A et n_B sont les nombres de mesures en phase A et B
 $n_A + n_B - 2 =$ nombre de degrés de liberté.

Pour fixer les idées, rappelons la valeur du test t pour les probabilités ci-dessous et le nombre de degré de liberté de l'ensemble de nos expériences :

ddl \ α	0,05	0,02	0,01	0,001
16	2,120	2,583	2,921	4,015
18	2,101	2,552	2,878	3,922
20	2,086	2,528	2,845	3,850
22	2,074	2,508	2,819	3,792
24	2,064	2,492	2,797	3,745
26	2,056	2,479	2,779	3,707

3122. Ecart-réduit :

Soit S^2 la variance (d'un grand échantillon dans le cas présent).

$$S^2 = \frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n - 1}$$

et

l'écart-réduit :

$$\xi = \frac{m_A - m_B}{\sqrt{\frac{S^2_A}{n_A} + \frac{S^2_B}{n_B}}}$$

avec S^2_A et S^2_B différents dans le cas présent par rapport au S^2 commun dans le calcul du test t.

Pour fixer les idées également à ce sujet, rappelons les tables de FISHER pour les très petites valeurs de probabilité :

α		0,001	0,0001	0,00001	0,000001	0,0000001	0,00000001

ξ		3,2905	3,8905	4,4171	4,8916	5,3267	5,8307
α		0,000000001					

ξ		6,1094					

313. Résultats :

3131. Test t vertical :

Nous les indiquerons sous forme de tableau pour chacune des 4 catégories expérimentales (tableaux 19 à 22 inclus).

Ces tableaux montrent que pour toutes les valeurs mesurées à 10, 15 et 20 minutes de refroidissement le test t nous donne une probabilité inférieure à 0,001 pour le nombre de degrés de liberté de nos expériences.

	t ₅	t ₁₀	t ₁₅	t ₂₀	t ₃₀	t ₆₀	t ₁₂₀
Jean-François J.	8,558	12,615	25,284	25,681	12,128	7,038	4,702
Isabelle V.	11,196	19,8	23,244	19,084	8,856	0,760	0,583
Josette D'H.	4,399	6,386	9,382	21,444	1,378	1,882	1,573
Catherine F.	9,649	9,791	12,198	12,493	3,366	2,111	6,840
Michèle M.	0,879	10,676	17,527	12,01	13,246	0,977	5,075
Michèle C.	7,595	13,550	21,137	25,725	0,633	1,154	2,589
Alain B.	4,289	12,207	13,825	16,034	2,589	0,74	3,754
Jan K.	6,991	13,005	13,719	14,819	3,279	1,881	6,100
Claude P.	4,674	17,171	18,821	28,78	5,48	4,492	4,468
Yves B.	7,509	15,209	18,459	33,239	14,838	8,846	10,185
Geneviève H.	6,344	6,267	9,845	27,616	11,896	11,131	8,677
Michèle J.	1,095	1,804	5,116	11,033	3,907	6,632	2,016

MASSAGE AU CUBE DE GLACE SUR LE VENTRE MUSCULAIRE DU
CREUX POPLITE AU TIERS INFÉRIEUR DE LA JAMBE

	t ₅	t ₁₀	t ₁₅	t ₂₀	t ₃₀	t ₆₀	t ₁₂₀
Chantal S.	10,426	8,530				8,010	1,825
Ernest W.	12,653	13,975	14,702		6,415	0,658	6,873
Vincent R.	2,513	11,217	7,561	15,022	6,968	2,367	2,344
Arlette D.	8,292	2,341	24,143	26,659	15,335	15,473	11,492
David C.	5,813	12,079	12,369	12,640	5,756	4,448	0,753
Michèle G.	6,41	1,476	7,625	9,971	2,820	5,384	9,722
Bernadette G.	0,218	7,22	8,532	16,832	8,816	2,493	3,806
Francis C.	3,317	12,138	15,962	34,117	7,028	10,09	6,069
Arlette C.	10,685	5,861	15,238	12,801	9,770	0	1,138
M. Jeanne L.	1,636	4,70	6,036	7,146	1,756	5,28	10,884
Daniel V.	3,078	17,960	5,743	19,681	3,512	2,659	0,200

ENVELOPPEMENT DE GLACE DU CORPS MUSCULAIRE

	t ₅	t ₁₀	t ₁₅	t ₂₀	t ₃₀	t ₆₀	t ₁₂₀
Jean H.	7,362	17,398	32,904	13,860	2,079	5,815	2,605
Patrick V.	4,174	16,216	12,567	13,317	8,220	12,447	10,179
Bernard C.	3,719	4,448	7,133	8,057	2,222	2,567	4,617
Pierre B.	4,822	7,871	9,869	13,569	1,375	1,986	3,025
Jean-Marie D.	2,539	12,712	10,805	18,865	5,506	0,714	8,670
Christian D.	11,61	12,096	8,964	17,848	0,319	8,246	5,961
Eric V.					2,164	0,721	1,478
M. Jeanne L.	9,77	10,714	11,408	18,614	8,235	6,859	4,031
Françoise M.	3,717	4,887	13,538	11,17	3,321	4,713	0,757
Isabelle V.	1,395	5,375	9,344	6,260	2,219	1,631	0,819
Michèle J.	7,453	4,403	5,791	3,487	3,383	14,292	13,33
Bernadette R.	2,878	5,255	2,939		2,217	2,477	4,438
Geneviève H.	10,523	21,4	10,758	3,035	3,754	11,095	1,935
Yves B.	3,554	7,384	13,396	13,764	9,874	5,449	7,206
Francis C.	6,466	12,614	10,616	9,691	3,508	5,338	1,290
Christian M.	5,171	7,682	1,423	11,617	1,778	26,397	2,686
Gérard H.	0,341	6,602	8,762	9,422	2,714	7,954	4,333

MASSAGE AU CUBE DE GLACE SUR LE TENDON D'ACHILLE

	t ₅	t ₁₀	t ₁₅	t ₂₀	t ₃₀	t ₆₀	t ₁₂₀
Pierre B.	1,813	6,384	6,400	10,382	2,590	4,293	3,709
Michèle J.	16,206	8,388	11,13	8,452	3,884	4,739	5,282
Jean H.	3,474	7,656	15,830	14,845	4,414	0,198	9,873
Christian M.	3,45	12,2	11,77	17,77	8,538	2,686	6,07
Bernard J.	2,937	1,199	0,42	1,307	0,929	0,606	2,25
Marie-Rose A.	1,618	0,06	3,10	2,24	2,21	1,23	2,099
Jean-Pierre S.	0,67	7,34	10,53	9,287	1,932	0,55	0,425
Gérard H.	2,281	6,167	7,99	9,908	4,51	3,267	6,639
M.Noëlle D.	0,537	0,29	2,61	5,095	4,106	1,988	2,6
Raymond J.	3,862	6,244	12,943	8,975	1,669	2,985	4,134
Christian R.	5,699	7,48	13,684	16,952	6,714	11,278	5,699
Ernest W.	0,491	1,11	4,965	5,969	2,724	2,890	4,523
Michèle G.	6,752	0,385	10,442	7,209	2,259	5,312	12,863

ENVELOPPEMENT DE GLACE DU TENDON D'ACHILLE

- Tableau 22 -

ces (puisque, en règle, t est $> 4,015$ pour 16 degrés de liberté à la probabilité 10^{-3} et $> 3,646$ pour 30 degrés de liberté et la même probabilité).

Nos résultats sont donc, par définition statistique, supérieurs à la limite du très hautement significatif (les tableaux 23 et 24 nous donnent le nombre de mesures du réflexe achilléen pour chaque sujet à chaque temps, naturellement indispensable pour calculer le nombre de degrés de liberté)

3132. Test horizontal de l'écart-réduit :

Sous les réserves énoncées plus haut, nos tests indiquent également que nos résultats sont à une probabilité $< 0,000000001$, c'est-à-dire $< 10^{-9}$ (tableau 25).

Ceci nous permet d'éluder complètement, dans le cas particulier de notre travail, par principe et par calcul, toute ingérence d'un facteur aléatoire normatif ou instrumental, et justifie a posteriori notre méthodologie.

32. DISCUSSION DES FACTEURS METHODOLOGIQUES

Par définition, et par calcul statistique, nous avons démontré plus haut qu'ils ne peuvent pas intervenir dans notre travail. Aussi les rappellerons-nous très brièvement pour mémoire, en ce qui concerne la réflexographie en général.

321. Problème des normes :

Nous n'y reviendrons pas ici (cf. plus haut, 1232).

MASSAGES MUSCLES

Temps	!	0	5	10	15	20	30	60	120
J.François J.	!	10	11	13	12	10	12	11	10
Isabelle V.	!	12	17	13	15	15	12	12	12
Josette D.	!	11	14	15	15	13	13	10	10
Catherine F.	!	10	10	10	12	12	10	10	10
Michèle M.	!	10	13	10	11	8	9	10	10
Michel C.	!	10	10	11	12	10	10	10	10
Alain B.	!	13	8	13	15	5	10	10	10
Jean K.	!	11	13	12	12	11	10	11	11
Claude P.	!	9	10	12	12	8	9	10	9
Yves B.	!	15	15	13	7	12	13	13	12
Geneviève H.	!	12	14	12	11	12	12	12	12
Michèle J.	!	11	11	11	13	12	12	12	11

ENVELOPPEMENT MUSCLE

Chantal S.	!	10	10	9				13	12
Ernest W.	!	12	12	11	12		10	12	12
Vincent R.	!	12	10	10	12	10	13	10	12
Arlette D.	!	10	12		10	10	10	10	10
David C.	!	10	10	10	11	10	10	10	10
Bernadette R.	!	10	10	9	10	7	10	10	10
Michèle G.	!	12	11	11	13	12	14	11	12
Francis C.	!	10	10	10	10	10	10	10	10
Arlette C.	!	10	10	10	10	10	10	10	10
M.Jeanne L.	!	10	10	9	10	10	10	10	10
Daniel V.	!	10	10	12	12	12	11	12	12

M A S S A G E S T E N D O N S

Temps	0	5	10	15	20	30	60	120
Jean H.	11	12	11	10	9	11	11	12
Christian V.	10	12	10	12	10	14	11	11
Bernard C.	10	12	10	13	10	11	12	11
Pierre B.	10	10	10	9	13	19	10	11
Jean-Marie D.	10	12	10	10	12	14	11	11
Christian D.	11	11	11	15	11	12	11	12
Eric V.	12					3	3	11
M. Jeanne L.	10	12	10	11	13	15	10	12
Françoise M.	11	13	13	12	9	15	12	9
Isabelle V.	12	11	11	10	10	12	13	12
Michèle J.	12	12	10	12	10	11	12	10
Bernadette R.	12	7	5	8	5	3	12	12
Geneviève H.	12	12	12	13	16	14	12	16
Yves B.	11	11	12	12	11	10	11	11
Christian M.	11	13	10	10	13	10	18	13
Gérard H.	10	11	11	11	10	13	11	10
Francis C.	12	11	10	11	15	11	12	11

E N V E L O P P E M E N T S T E N D O N S

Pierre B.	12	12	10	12	10	12	12	12
Michèle J.	10	11	12	12	12	12	12	12
Jean H.	10	12	12	12	4	10	10	9
Christian M.	12	12	12	12	12	12	12	12
Bernard J.	12	12	12	12	10	12	12	12
M. Rose A.	11	12	12	12	12	15	12	12
J. Pierre S.	12	10	12	10	12	12	12	12
Gérard H.	11	12	12	12	12	12	12	12
M. Noëlle D.	12	12	12	9	10	12	12	12
Raymond J.	12	12	12	12	12	12	12	12
Christian R.	12	11	12	12	12	12	12	12
Ernest W.	12	12	12	12	12	12	12	12
Michèle G.	12	12	12	12	12	11	12	12

ECART-REDUIT

t = 0	n = 133 m = 272,48 s ² = 535,45	σ = 23,14
t = 5	n = 147 m = 299,18 s ² = 615,04	σ = 24,80 ξ ₀₋₅ = 9,319
t = 10	n = 145 m = 338,58 s ² = 2225,95	σ = 47,18 ξ ₀₋₁₀ = 15,016
t = 15	n = 146 m = 374,69 s ² = 3114,76	σ = 55,81 ξ ₀₋₁₅ = 20,296
t = 20	n = 127 m = 430,94 s ² = 6318,66	σ = 79,49 ξ ₀₋₂₀ = 21,609

322. Non linéarité possible de la réponse :

Notre méthodologie est unique pour tous les sujets, et choisie de manière à ce que la distorsion linéaire soit la plus faible possible (cf. 213). Si cet élément intervenait, ce serait d'une manière proportionnelle pour toutes nos mesures, mais ceci n'affecterait pas le sens de variation de nos résultats.

323. Importance et gradient du refroidissement :

En expérimentation animale, le froid est appliqué directement sur le muscle, ce qui élimine évidemment l'intervention de la peau et de ses éléments vasculaires et nerveux.

Plusieurs auteurs ont cependant étudié les températures cutanées et musculaires chez l'Homme.

Les données les plus récentes sont dues à MIGLIETTA (1973) ; sur 40 sujets dont il a immergé la jambe dans de l'eau à 7°C, durant 30 minutes, il a obtenu les résultats suivants :

- . La température de la peau, enregistrée avec un thermocouple, tombe de 33.5°C à 15.4°C après 10 minutes, et à 14°C après 20 minutes.
- . La température musculaire, enregistrée avec une aiguille hypodermique à 3 cm de profondeur, tombe de 35.6°C à 34°C après 10 minutes, et à 31.6°C après 20 minutes.

Il est cependant logique de penser que tous les fuseaux neuro-musculaires ne subissent pas exactement le même refroidissement. Ces travaux complètent et confirment d'ailleurs ceux de MECOMBER et HERMAN (1971) qui ont étudié l'effet du refroidissement de plus longue durée mais qui indiquent, pour des courtes durées, des résultats très comparables à ceux de MIGLIETTA.

324. Logistique du refroidissement :

Il va de soi que notre propos étant d'étudier l'action d'un refroidissement périphérique, nous excluons ici par prétériton les travaux qui traitent de l'action d'un refroidissement central sur les réflexes polysynaptiques (v. notamment : BENITA et CONDE, 1972).

Dans le même ordre d'idée, le travail de SCHÄFER et SCHÄFER (1973), qui étudient chez le Chat l'influence sur les propriocepteurs musculaires d'un refroidissement assez intense pour provoquer le frisson thermique, nous paraît également sortir du cadre des argumentations possibles ici, à cause de la composante humorale, centrale, du frisson thermique et de ses répercussions supra-segmentaires sur le réflexe myotatique.

Nous pensons de même que les recherches d'OTTOSON (1965) sur les fuseaux neuro-musculaires isolés de la Grenouille d'automne est beaucoup plus un travail mettant en évidence l'action du réchauffement sur les fuseaux d'un animal vivant normalement vers 10°C, que l'action du refroidissement sur les fuseaux d'un mammifère à température centrale élevée.

33. ESSAI GENERAL D'INTERPRETATION DE L'ACTION DU FROID SUR LE REFLEXOGRAMME ACHILLEEN

Très nombreux et divers ont été les mécanismes invoqués pour expliquer l'action du froid, avec des éléments invoqués par certains ou au contraire récusés par d'autres, à chaque étage possible de la réponse monosynaptique, et aussi bien sur le plan de l'arc réflexe que de l'effecteur musculaire.

Notre travail expérimental sur le réflexogramme lui-même ne comprend actuellement pas une partie expérimentale analytique sur l'un des facteurs en cause, mais nous reclasserons dans la présente discussion tous les éléments évoqués ci-dessus, sans prendre parti.

Nous envisagerons donc les effets du refroidissement aux divers étages suivants :

- l'arc réflexe myotatique :
 - . ses récepteurs de type divers,
 - . les neurones afférents (sensitifs),
 - . les neurones efférents (moteurs),
 - de type α
 - de type β
 - de type γ
- l'effecteur musculaire :
 - . potentiel d'action
 - . visco-élasticité
 - . métabolisme musculaire
- vaso-motricité :
 - . cutanée, comme facteur de réflexe
 - . musculaire

oOo

Comme nous l'avons énoncé (§ 324), nous nous limiterons ici à l'action d'un abaissement de température localisé de la peau et de l'effecteur neuro-musculaire, sur les éléments du réflexe myotatique, en s'arrêtant à l'étage médullaire où se forme le réflexe. Nous justifierons, dans notre conclusion, l'intérêt thérapeutique de cette limitation.

Dans la présente discussion, nous envisageons aussi bien les facteurs expérimentaux décrits chez l'Homme que ceux, beaucoup plus nombreux, décrits chez l'animal. L'isolement possible des composantes du réflexe myotatique dans le second cas en facilite en effet beaucoup l'analyse, et c'est à eux que se réfèrent les quelques auteurs qui ont étudié l'action du refroidissement sur le réflexe myotatique chez l'Homme (v. notamment : PETAJAN et coll., 1962 ; KNUTSSON et MATTSON, 1969 ; MIGLIETTA, 1973), ou, d'une façon plus générale, sur la "spasticité" (1) (v. notamment : VIEL, 1959 ; HARTVIKSEN, 1962 ; NEWTON, 1965 ; KELLY, 1969 ; NOEL-DUCRET, 1970 ; OLSON et STRAVINO, 1972).

331. Action du froid sur l'arc réflexe monosynaptique :

3311. Récepteurs :

a) Récepteurs proprioceptifs-spécifiques :

Chez l'Ecrevisse curarisée (BURKHARDT, 1959) avait montré que la diminution de température augmentait le potentiel de récepteur à l'étirement, mais cette expérimentation ressort de la remarque ci-dessus.

Nous rappellerons plus volontiers que ELDRED et coll. (1960) ont étudié les effets du refroidissement, de la valeur de la température centrale

(1) NEWTON a défini spasticité et rigidité :

- Spasticité : résistance exagérée aux mouvements passifs si ceux-ci sont exécutés avec une certaine vitesse minimale.
- Rigidité : résistance aux mouvements passifs.
Pour notre part, nous pensons qu'il est préférable d'utiliser le terme d'hypertonie, d'autant que la régulation du tonus est assurée, pour une large part, par le réflexe proprioceptif d'étirement dont nous avons fait un rappel en lère partie.

à celle de 15°C, sur tous les types de récepteurs présents dans le muscle gastrocnémien du Chat et les tendons correspondants. Pour ces auteurs, tous les modes de perception, (et toutes les transmissions correspondantes) sont ralentis, y compris dans les conditions du réflexe myotatique obtenu par une stimulation sub-maximale chez le Chat décérébré et paralysé par la galamine.

LIPPOLD et coll., (1960) sont arrivés à des conclusions analogues sur les fuseaux des Mammifères.

Mais la méthode analytique la plus probante à ce niveau est évidemment l'étude du potentiel de récepteur lui-même. Comme le rappelle OTTOSON (1965) dans son étude à ce sujet, "*few data are available about the effects of temperature on structure giving non-propagated electrical responses*". Malgré l'inconvénient méthodologique inhérent à notre objet d'étude, que nous énoncions plus haut, cette publication reproduit des figures très démonstratives sur la diminution très nette du potentiel de récepteur (ici en fonction de l'augmentation de la température) et la fréquence des influx à l'étirement.

b) Influence possible d'autres récepteurs :

Rappelons que les stimuli émanant des récepteurs cutanés ont une action possible sur les décharges médullaires, comme l'a indiqué GRANIT (1955). Pour HARTVIKSEN (1962), ce serait l'action du froid sur ces récepteurs cutanés qui serait initialement responsable de la diminution de spasticité, avant même que le froid n'atteigne les propriocepteurs musculaires.

3312. Neurones afférents :

Une remarque s'impose en l'occurrence, la nécessité de distinguer l'action du froid d'une part sur la vitesse générale de conduction nerveuse, et d'autre part sur celle de chaque cas particulier de neurone.

Nous évoquerons à ce sujet le travail récent de DE JESUS et coll. (1973) qui, à propos de l'action du froid sur le nerf médian chez l'Homme, appliquent une formule calculée du Q_{10} affectant la vitesse de conduction nerveuse V_1 et V_2 à 2 températures t_1 et t_2 différentes :

$$\text{soit } Q_{10} = \frac{V(t + 10^\circ\text{C})}{V(t)}, \text{ par définition}$$

$$\text{et } V_2 = V_1 \times Q_{10} \times \frac{t_2 - t_1}{10}$$

Ils en calculent, d'après leurs données expérimentales, un Q_{10} moyen de 1,51, pour toutes les fibres nerveuses motrices et sensibles.

En fait l'action du froid semble différente selon chaque type de fibres, et, comme le rappellent d'ailleurs les auteurs " *it is commonly accepted that conduction velocity in all fibers of a major nerve decreases with cold, but that certain classes of fibers are more sensitive to cold than others*". Ceci ressort d'ailleurs bien des travaux de DOUGLAS et MALCOLM (1955) sur le nerf du Chat.

Pour ces auteurs, dont le concept général reste actuellement classique, les fibres A (de la classification d'Erlanger-Gasser) sont plus sensibles au froid que les fibres C. Mais dans les fibres A, les fibres de plus petit diamètre ($A\delta$) le sont plus que les fibres $A\beta$ et $A\gamma$, et les fibres $A\alpha$ sont les plus résistantes au froid, quoique moins que les fibres C.

Schématiquement, l'ordre de sensibilité décroissant au froid est donc, d'après DOUGLAS et MALCOLM :

$$A \int - A\beta \text{ et } \gamma - A\alpha \text{ et } B - C$$

Selon les auteurs, les opinions semblent divergentes sur le rôle fonctionnel de ce mécanisme. C'est ainsi que son importance paraît certaine à PETAJAN et WATTS (1962), qui écrivent : "*because a portion of the muscles lies at the junction of cooled and uncooled tissue, all fibers will not be at the same temperature, and conduction velocity will not be reduced to the same degree in each fiber. Therefore, activity that may begin synchronously peripherally*". (En toute rigueur, cette interprétation ne fait d'ailleurs pas intervenir une action différente du froid selon le calibre des fibres).

En extrapolant de ces données plus ou moins contradictoires, ou au moins différentes, on pourrait admettre que la sensibilité fusoriale est plus diminuée par le froid que la sensibilité tendineuse. Dans le même ordre d'idée, Frédérique NOEL-DUCRET propose (1970) si on veut réduire la douleur et la spasticité, "afin de faciliter la rééducation sans réduire la conductivité des nerfs moteurs du groupe A ". Mais pour soulager seulement la douleur, il faudra choisir des températures beaucoup plus basses pour réduire à la fois la conductivité des fibres C et des fibres A (FOX, 1961).

3313. Neurones efférents :

La stimulation électrique du nerf tibial et l'enregistrement de la réponse motrice chez l'Homme ont été étudiés, dans les conditions du refroidissement

à 9°C pendant 20 minutes, par LIPPOLD et coll. (1957). Ces auteurs ont observé une réduction de 9 à 6 Hz de l'E.M.G., et une certaine tendance à la synchronisation.

Ces répercussions imprévues sur l'augmentation ou non de la synchronisation des réponses des unités myotatiques au froid sont discutées dans le travail de PETAJAN et coll., cité plus haut, mais d'une manière peut être un peu académique.

DOUGLAS et MALCOLM (1955), sur une préparation de nerf immergé in situ dans la paraffine liquide chez le Chat, ont pu montrer que, dans la branche motrice du sciatique, les fibres γ sont bloquées par le froid avant les fibres α .

332. L'effecteur musculaire :

Les données relatives à l'action du froid sur l'effecteur musculaire sont plus anciennes, et nous nous contenterons d'en rappeler ici les points principaux ou d'acquisition récente.

L'action globale du froid a déjà été bien mise en évidence au siècle dernier, notamment par les Physiologistes Français.

Dans l'ouvrage classique de MAREY (1878) "La méthode graphique dans les sciences expérimentales, et particulièrement en Physiologie et en Médecine", on trouve déjà une remarquable étude comparative sur le myogramme de Grenouille en fonction d'un réchauffement progressif en myographie simple (p. 197) ou en tracé "imbriqué" (p. 520).

Pour DUBOIS et COUVREUR (1900), "L'effet du froid est de rendre la durée de la contraction musculaire beaucoup plus grande, surtout pendant la période de descente de la courbe".

Comme l'expliquent bien LANGLOIS et de VARIGNY (1900), reprenant eux-mêmes des travaux de MAREY, le refroidissement augmente tous les temps de la contraction musculaire et en diminue l'amplitude. C'est ce qu'on lit également dans le traité classique de MORAT et DOYON (1904), où les auteurs montrent l'action du refroidissement sur le myogramme isotonique et isométrique.

Nous avons cru devoir rappeler ces références anciennes, car elles sont malheureusement trop méconnues, et les travaux des divers auteurs précités mettaient pourtant en évidence, dès le siècle dernier, l'action globale du refroidissement sur la contraction musculaire. Cependant l'analyse des différentes composantes de cette action est plus récente.

3321. Potentiels musculaires :

Nous n'avons, dans le paragraphe relatif à l'arc réflexe, pas envisagé le potentiel d'action nerveux lui-même, mais plutôt la fréquence et la vitesse de conduction.

Dans le cas de l'effecteur musculaire, le problème se pose , et à deux niveaux :

- . potentiel de plaque motrice
- . potentiel d'action musculaire.

a) Potentiel de plaque motrice :

Dans un travail classique ECCLES, KATZ et KUFFLER (1941), ont montré que l'abaissement de la température augmente la durée de la phase ascendante du potentiel de plaque et laisse relativement inchangé le reste du phénomène.

C'est cet allongement de la phase ascendante du potentiel de plaque qui explique la diminution de fréquence de transmission de l'influx du nerf

moteur au muscle strié. On sait en effet à quel point toute modification du potentiel de plaque, notamment par la curarisation, provoque de changements dans la transmission neuro-musculaire, et nous ne pouvons que renvoyer aux traités de Physiologie classique à ce sujet.

b) Potentiel d'action musculaire :

Dans un de ses premiers travaux sur l'action du froid sur la spasticité, MIGLIETTA (1962) indique chez l'Homme une relation étroite entre le refroidissement et l'amplitude du potentiel d'action (à vrai dire détecté en bipolaire, par électrodes de surface).

Là aussi, de nombreuses comparaisons ont été faites, en Physiologie expérimentale, sur d'autres effecteurs musculaires, et notamment sur la fibre cardiaque.

3322. Visco-élasticité :

MIGLIETTA (1962) a noté des modifications des propriétés visco-élastiques du muscle, sous forme d'une augmentation de la viscosité par application de froid.

En 1967, HAINES parle d'altération de la viscosité des cellules lors de l'application du froid ; il note également que les contractions musculaires seraient plus difficiles.

CHAMBERS (1969) parle d'augmentation de la viscosité tissulaire et articulaire. Les effets d'un refroidissement local sur les réflexes et sur l'activité volontaire ont été étudiés par MECOMBER (1971) qui signale également des altérations possibles de la visco-élasticité et des propriétés contractiles du muscle, sous forme d'une augmentation de la viscosité par application de froid.

3323. Métabolisme musculaire :

COULTER (1947) a montré, par l'analyse de la saturation en oxygène du sang veineux, que le métabolisme tissulaire est diminué par l'application du froid. Ceci indique que les tissus refroidis ont besoin de moins d'oxygène pour vivre que les tissus à la température normale du corps.

Le refroidissement entraîne une diminution de production des métabolites et des besoins en oxygène (HAINES, 1967).

La diminution du métabolisme par le refroidissement peut être expliquée par la notion de Q_{10} : une réaction chimique est approximativement diminuée de moitié si l'on réduit la température de 10 degrés.

Des données plus récentes (v. notamment : FREWIN et coll., 1973) ont mis en évidence des modifications enzymatiques à conséquences musculaires, lors de l'application du froid.

333. Vaso-motricité :

En 1947, COULTER pense que la réaction initiale à l'application de froid est une vaso-constriction comprenant :

- . une constriction directe et persistante des vaisseaux sanguins superficiels
- . une vaso-constriction générale immédiate par action réflexe centrale
- . une vaso-constriction généralisée, après un certain délai, conséquence de la stimulation de l'hypothalamus postérieur par le sang refroidi, en périphérie.

MURPHY, en 1959, a émis l'hypothèse que l'application du froid diminue la circulation locale et entraîne localement une vaso-constriction veineuse ainsi qu'une augmentation de la pression veineuse.

En 1960, GLOVER et RODDIE pensent qu'il y a vaso-constriction des vaisseaux superficiels, par action du froid sur le système sympathique vaso-constricteur.

KEATINGE, en 1961, pense à une vaso-dilatation des vaisseaux plus profondément situés, entraînant ainsi un apport sanguin plus important au niveau de ces tissus : "*the constriction in the surface vessels produces a reflex vaso-dilatation in the deep vessels*". Mais certains chirurgiens, utilisant des techniques de refroidissement, observent qu'une vaso-constriction survient dans les tissus profonds.

Il est probable, selon LEWIS, qu'à partir d'une température de 15°C et plus bas, une vaso-dilatation réflexe intervient, entraînant un apport sanguin "compensateur". Ce serait un système de protection pour maintenir la viabilité des tissus à basse température.

En fait, il nous semble que les divers auteurs qui se sont intéressés à cette question ne mettent pas en évidence la part cutanée et la part musculaire de ces réponses vaso-motrices.

- CONCLUSION -

Notre but était de vérifier d'une manière statistique chez l'Homme l'influence d'un refroidissement localisé, pendant 20 minutes, sur le réflexogramme achilléen, mesuré par le temps de demi-relaxation.

Nous avons discuté l'importance des facteurs instrumentaux à ce sujet, et constaté que, chez chaque sujet, le test "t" était très hautement significatif ($P < 0,001$ pour le nombre de degrés de liberté de notre expérimentation), entre la valeur avant, pendant et après refroidissement. Les mesures étaient pratiquées à la 5°, 10°, 15° et 20° minutes du refroidissement, puis 30, 60 et 120 minutes après retour à la température ambiante.

Dans le cadre de la Cryothérapie, on sait à quel point l'usage thérapeutique du froid tend à se généraliser en Pathologie musculaire aussi bien chronique que traumatique (v. notamment : Jeux Olympiques d'Hiver, GRENOBLE 1968 ; Championnats du monde cycliste, MONTREAL, Août 1974, etc...).

Le massage au cube de glace, pratiqué sur le muscle traumatisé ou l'enveloppement par serviettes glacées, pratiqué pour les tendinites, nous paraît physiologiquement bien justifié, aussi bien sur le plan de la douleur que du relâchement musculaire.

- BIBLIOGRAPHIE -

1. BANKER, B.Q. ; PRZYBYLSKI, R.J. ; VAN DER MEULEN, J.P. et VICTOR, M. (1972)
"Research in muscle development and the muscle spindle".
Excerpta Med. ed., AMSTERDAM, 1 vol.
2. BARKER, D. ; HARKER, D. ; STACEY, M.J. et SMITH, C.R. (1972).
"Fusimotor innervation".
in BANKER et coll., 1972, p. 227-253.
3. BENITA, M. et CONDE, H. (1972)
"Effects of local cooling upon conduction and synaptic transmission".
Brain Research., 36, 133-151.
4. BERNSTEIN, J. (1902)
"Untersuchungen zur Thermodynamik der bioelectrischen Ströme".
lère part. Pflüg. Arch. ges. Physiol., 92, 521-562.
5. BOES, M.C. (1962)
"Reduction of spasticity by cold".
J. Am. Phys. Ther. Ass., 42, 29-32.
6. BURKHARDT, D. (1959)
"Effect of temperature on isolated stretch receptor organ of the curarized muscle".
J. Neurophysiol., 4, 363-387.
7. CHAMBERS, C. (1969)
"Clinical uses of Cryotherapy".
Physical Therapy, 49, (3), 245-249.
8. CLENDENIN, M.A. et SZUMSKI, A.J. (1971)
"Influence of cutaneous ice application on single motor units in humans".
Physical Therapy, 51, 166-175.
9. DE JESUS, P.V. ; HAUSMANOWA-PETRUSEWICZ, I. et BARCHI, R.I. (1973)
"The effect of cold on nerve conduction of human slow and fast nerve fibers".
Neurology, 23, 1182-1189.
10. DOUGLAS, W.W. et MALCOLM, J.L. (1955)
"The effect of localized cooling on conduction in cat nerves".
J. Physiol., 130, 53.

11. DUBOIS, R. et COUVREUR, E. (1900)
"Leçons de physiologie expérimentale".
G. CARRE et C. NAUD, ed., PARIS, 1 vol.
12. DUMOULIN, J. et de BISSCHOP, G. (1968)
"Le réflexogramme achilléen : ses indications, sa pratique".
de VISSCHER Ed., BRUXELLES, 1 vol., 63 p.
13. ECCLES, J.C. ; KATZ, B. et KUFFLER, S.W. (1941)
"Nature of the end-plate potential in the curarized muscle".
J. Neurophysiol., 4, 363-387.
14. ELDRED, E. ; LINDSLEY, D.F. et BUCHWALD, J.S. (1960)
"The effect of cooling on mammalian muscle spindles".
Experim. Neurology, 2, (2), 144-157.
15. FOX, R.H. (1961)
"Local cooling in Man".
Brit. Med. Bull., 17, 14.
16. FREWIN, D.B. ; DOWNEY, J.A. et LEVITT, M. (1973)
"The effect of heat, cold, and exercise on plasma-dopamine- β -hydroxylase activity in Man".
Canad. J. Physiol. Pharmacol., 51, (12), 986-989.
17. GASSER, H.S. (1931)
"Nerve activity as modified by temperature changes"
Amer. J. Physiol., 47, 254-270.
18. GRANIT, R. (1955)
"Receptors and sensory receptors".
Yale Univ. Press. ed., New-Haven, 1 vol.
19. GRANT, A.E. (1964)
"Massage with ice (cryokinetics) in the treatment of painful conditions of the musculoskeletal system".
Archives of Phys. Med. and Rehabilitation, 45, (5), 233-238.
20. HAINES, J. (1967)
"A survey of recent developments in cold therapy".
Physiotherapy, 53, 222-229.
21. HARICHAUX, P. ; BLANC, Y. et ALSAC, J. (1974)
"Contribution à l'étude de l'action périphérique du froid sur le réflexogramme achilléen chez l'Homme".
Congrès Suisse de Physiothérapie, LEYSIN, 5.10.74.

22. HARTVIKSEN, K. (1962)
"The therapy in spasticity".
Acta Neurol. Scand., 38, (suppl. 3), 79-84.
23. HERMANN, H. et CIER, J.F. (1970)
"Précis de Physiologie : Physiologie générale du muscle. Physiologie générale du nerf".
Masson éd., PARIS, 1 vol. (tome 2).
24. HERMANN, H. et CIER, J.F. (1970)
"Précis de Physiologie : système nerveux central".
Masson éd., PARIS, 1 vol. (tome 3).
25. HODGKIN, A.L. et KATZ, B. (1949)
"The effect of temperature on the electrical activity of the giant axon of the squid".
J. Physiol. (Lond.), 109, 240-249.
26. KAYSER, C. (1969)
"Physiologie : système nerveux muscle".
Flammarion éd., PARIS, 1 vol.
27. KELLY, M. (1969)
"Effectiveness of a cryotherapy. Technique on spasticity".
Physical Therapy, 49, (4), 349-353.
28. KNUTSSON, E. et MATTSON, E. (1969)
"Effects of local cooling on monosynaptic reflexes in Man".
Scand. J. Rehab. Med., 1, (3-4), 126-132.
29. LANGLOIS, P. et de VARIGNY, H. (1900)
"Nouveaux éléments de Physiologie".
Octave Doin éd., PARIS, 1 vol.
30. LEPRAT, J. (1969)
"Examen clinique et exploration fonctionnelle de la glande thyroïde".
Euc. Medico Chir., (1000 2 E¹⁰), 1-5.
31. LIPPOLD, O. ; REDFERN, J. et VUCO, J. (1957)
"The rhythmical activity of groups of motor units in the voluntary contraction of muscle".
J. Physiol. (Lond.), 137, 473-487.
32. LIPPOLD, O. ; NICHOLLE, J. et REDFERN, J. (1960)
"A study of the afferent discharge produced by cooling a mammalian muscle spindle".
J. Physiol. (Lond.), 153, 218-231.

33. LISON, L. (1958)
"Statistique appliquée à la biologie expérimentale".
Gauimier-Villars éd., PARIS, 1 vol.
34. LORENTE DE NO, R. (1947)
"A study of nerve physiology", 1 et 2, Stud. Rockfel.
Inst. Med. Res. éd., NEW-YORK, n° 131 et 132.
35. MECOMBER, S.A. and HERMAN, R. (1971)
"Effects of local hypothermia on reflex and voluntary activity".
J. Am. Phys. Therapy Ass., 51, 271-282.
36. MAREY, E.J. (1878)
"La méthode graphique dans les sciences expérimentales".
G. Masson éd., PARIS, 1 vol.
37. METRAL, S. et MONOD, H. (1970)
"Enregistrement potentiométrique du réflexe achilléen
(technique et résultats)".
Entretiens de BICHAT-MEDECINE 1970, 239-244.
38. MIGLIETTA, O.E. (1962)
"Evaluation of cold in spasticity".
Amer. J. Phys. Med., 41, (4), 148-151.
39. MIGLIETTA, O.E. (1973)
"Action of cold on spasticity".
Amer. J. Phys. Med., 52, (4), 198-205.
40. MORAT, J.P. et DOYON, M. (1904)
"Traité de Physiologie".
Masson éd., PARIS, 1 vol.
41. MORIN, G. (1971)
"Physiologie du système nerveux central".
Masson éd., PARIS, 1 vol.
42. NEWTON, M.J. et LEHMKUHL, Don. (1965)
"Muscle spindle response to body heating and localized muscle cooling".
J. Am. Phys. Ther. Assn., 45, 91-105.
43. NOEL-DUCRET (Mme F.), (1970)
"La cryothérapie".
Mémoire pour le diplôme M.K.M., 1 vol. dactyl., 30 p.

44. OLSON, J.E. and STRAVINO, V.D. (1972)
"A review of cryotherapy".
Physical Therapy, 52, (8), 840-853.
45. OTTOSON, D. (1965)
"The effects of temperature on the isolated muscle spindle".
J. Physiol. (Lond.), 180, (3), 636-648.
46. PETAJAN, J.H. et WATTS, N. (1962)
"Effects of cooling on the triceps sural reflex".
Amer. J. Physic. Med., 41, (6), 240-251.
47. SCHÄFER, S.S. et SCHÄFER, S. (1973)
"The behavior of the proprioceptors of the muscle and the innervation of the fusimotor system during cold shivering".
Exp. Brain. Res., 17, 364-380.
48. SCHWARTZ, D. et LAZAR, P. (1964)
"Eléments de statistique médicale et biologique".
Flammarion éd., PARIS, 1 vol.
49. TUBIANA, M. ; GUERIN, J.C. ; LELLOUCH, J. et PEREZ, R. (1967)
"Etude comparative du réflexogramme achilléen et des autres tests de la fonction thyroïdienne".
Presse Médicale, 75, (8), 375-379.
50. TUMAKOVA, N.M. (1958) (en russe)
"Participation of fast and slow muscle fibers in changes of electric activity of the Rat muscles during acute and chronic cooling".
Sechenov. Physiol. J. of the USSR, 58, (11), 1765-1768.
51. VIEL, E. (1959)
"Treatment of spasticity by exposure to cold".
Phys. Ther. Rev., 39, (9), 598-599.
52. WAYLONIS, G.W. (1967)
"The physiologic effects of ice massage".
Archives of Physical med. and rehabilitation, 48, (1), 37-42.

- TABLE DES MATIERES -

	<u>Pages</u>
<u>INTRODUCTION</u>	1
<u>PREMIERE PARTIE : RAPPEL SUR LE REFLEXE ACHILLEEN</u>	3
SIGNIFICATION PHYSIOLOGIQUE ET MODE D'ENREGISTRE- MENT	
11. <u>Signification physiologique, hodologie et</u> <u>mécanismes de régulation</u>	4
111. Signification physiologique	4
112. Eléments hodologiques du réflexe myotatique	5
113. Régulation du réflexe myotatique	15
12. <u>Procédés usuels d'étude clinique</u>	17
121. Principe et historique	17
122. Méthodes	18
123. Courbes	21
<u>DEUXIEME PARTIE : RESULTATS PERSONNELS</u>	24
21. <u>Technique</u>	25
211. Choix des sujets	25
212. Méthode de refroidissement	26
213. Technique d'enregistrement	26
214. Protocole	27
22. <u>Résultats</u>	37
<u>TROISIEME PARTIE : DISCUSSION</u>	48
31. <u>Discussion de nos résultats personnels</u>	49
311. Position de notre problème statis- tique	49
312. Rappel des formules utilisées	53
313. Résultats	54

32. <u>Discussion des facteurs méthodologiques</u>	59
321. Problème des normes	59
322. Non linéarité possible de la réponse	63
323. Importance et gradient du refroidissement	63
324. Logistique du refroidissement	64
33. <u>Essai général d'interprétation de l'action du froid sur le réflexogramme achilléen</u>	64
331. Action du froid sur l'arc réflexe monosynaptique	66
332. L'effecteur musculaire	70
333. Vaso-motricité	73
 <u>CONCLUSION</u>	 75
 <u>BIBLIOGRAPHIE</u>	 77
 <u>TABLE DES MATIERES</u>	 83

